



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

JEAN NONATO RIBEIRO DOS SANTOS

UTILIZAÇÃO DE BIOSSÓLIDO NO CRESCIMENTO
INICIAL DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L)
CULTIVADO EM SOLO COM DIFERENTES TEXTURAS

SÃO CRISTOVÃO-SE
2014

JEAN NONATO RIBEIRO DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE BIOSSÓLIDO NO CRESCIMENTO
INICIAL DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L)
CULTIVADO EM SOLO COM DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação apresentada ao Núcleo
de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos como um dos requisitos
para obtenção do título de Mestre
em Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Isidória Silva Gonzaga

SÃO CRISTOVÃO-SE

2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S237u Santos, Jean Nonato Ribeiro dos
Utilização de biossólido no crescimento inicial de pinhão manso
(*Jatropha curcas* L) cultivado em solo com diferentes texturas /
Jean Nonato Ribeiro dos Santos ; orientadora Maria Isidoria Silva
Gonzaga . – São Cristóvão, 2014.
58 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade
Federal de Sergipe, 2014.

1. Recursos hídricos. 2. Lodo residual como fertilizantes. 3.
Solos – Teor de compostos orgânicos. 4. Pinhão manso. I.
Gonzaga, Maria Isidoria Silva, orient. II. Título.

CDU 556.18:631.86:633.912

JEAN NONATO RIBEIRO DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE BIOSSÓLIDO NO CRESCIMENTO
INICIAL DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L)
CULTIVADO EM SOLO COM DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação apresentada ao Núcleo
de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos como um dos requisitos
para obtenção do título de Mestre
em Recursos Hídricos.

APROVADA: 30 de setembro de 2014

BANCA EXAMINADORA

Dr. André Quintão de Almeida – Universidade Federal de Sergipe
(Substituindo Orientadora Dr^a Maria Isidória Silva Gonzaga)

Dr. Ariovaldo Antonio Tadeu Lucas – Universidade Federal de Sergipe

Dr. Diego Campana Loureiro – Universidade Federal de Sergipe

**SÃO CRISTÓVÃO - SE
2014**

Dedico este trabalho aos amores da minha vida, minha filha Giovanna e minha esposa Fernanda, por serem minhas maiores incentivadoras, nas quais encontro força para crescer. Dedico também aos meus irmãos Jáder, Jadson e Jeane, dos quais sempre recebi grande incentivo e apoio. Dedico especialmente aos meus pais, Tereza Cristina Ribeiro dos Santos e Jairo Gonçalves dos Santos, pelo amor e confiança que sempre me dedicaram e pelo exemplo de humildade e honestidade.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus por me tornar digno da existência, com saúde e força pra navegar sempre sentido proa, mesmo em altas marés.

Agradeço especialmente a professora Dr^a. Maria Isidória Silva Gonzaga, pelo acolhimento quando precisei e pelos ensinamentos compartilhados nesse tempo em que me orientou durante o curso de Mestrado, dando-me as condições para a conclusão desta dissertação.

Agradeço imensamente ao professor Dr. André Quintão de Almeida, pelo incentivo e pela preciosa colaboração na realização das estatísticas.

Meus sinceros agradecimentos a Danielle Vieira Guimarães e Isaac Leal de Santana que conduziram o experimento, assim como Caroline Pina, a qual passou horas me aturando no laboratório participando de muitas análises.

Agradeço aos técnicos do Departamento de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Sergipe, Marcus Vinicius Garcia Martins e Idamar da Silva Lima por toda contribuição dada à realização de experimentos.

Agradeço ao amigo José Ilmar Tinel Júnior pela grande força dada em todas as etapas do mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A aplicação de biossólido em solos agrícolas se destaca pela viabilização da reciclagem de nutrientes, promoção de melhorias físicas, químicas e biológicas do solo por meio da adição de material rico em carbono, o que proporciona melhor ambiente para o crescimento de plantas e aumento na produtividade agrícola. Além disso, essa prática ainda contribui para a destinação mais racional do biossólido. Porém, seu uso deve ser manejado com cautela e levando-se em consideração principalmente a textura do solo, para evitar problemas de contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Os objetivos do estudo foram: i) Avaliar o crescimento inicial de plantas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L) cultivadas em solos com diferentes texturas e tratados com diferentes doses de biossólidos; ii) Avaliar a absorção de alguns macro e micronutrientes pelas plantas; iii) Avaliar o efeito do biossólido nas propriedades químicas do solo. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, usando o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, sendo 3 tipos de classe textural de solo (Areia, representada pelo Neossolo, (solo A); Franco Arenosa, representada pela camada de 0-20 cm do Argissolo (solo FA); Franco Argilo Arenosa, representada pela camada de 20-40 cm do Argissolo (solo FAA) e 4 doses de biossólido (0, 16, 80 e 160 toneladas por hectare), totalizando 12 tratamentos, com 3 repetições. As plantas foram cultivadas por 60 dias em vasos plásticos contendo 4 kg de solo, com umidade mantida a 70 % da capacidade de campo. A clorofila e a área foliar foram medidas no dia da colheita. Após a colheita, foram determinadas a biomassa seca da parte aérea e da raiz, e as concentrações de P, K, Zn e Cu nas plantas. Nas amostras de solo coletadas em cada vaso, após a colheita, foram determinados o pH, teor de matéria orgânica, condutividade elétrica, capacidade de troca de cátions e as concentrações de P, K, Ca, Mg, Na, Al, Zn e Cu. O crescimento das plantas foi melhor na presença de biossólido, independente da textura do solo, porém doses acima de 80 T ha⁻¹ não promoveram grandes incrementos na massa seca da parte aérea das plantas nos solos A e FA, mas tiveram efeito mais acentuado no solo FAA. A adição de biossólido resultou em aumentos no pH, na matéria orgânica, na CTC e nas concentrações de P, Ca, K, Na, Cu e Zn no solo, mas esses resultados variaram muito com a textura do solo e a com a dose de biossólido aplicada. Esses resultados confirmam os benefícios do biossólido, mas reafirmam a necessidade de cuidados quanto à sua aplicação nos diferentes tipos de solo.

Palavras-chave: Biossólidos, matéria orgânica, pinhão manso.

ABSTRACT

The application of biosolids in agricultural soils promotes the recycling of nutrients, improvement in the soil physical, chemical and biological properties through the addition of carbon rich material, thereby improving the environment for plant growth. Furthermore, it is a wise strategy for the waste disposal. However, its use should be handled with caution and taking into consideration mainly soil texture, to avoid problems of contamination of surface and groundwater. The aim of the study was: i) to evaluate the initial growth of *Jatropha curcas* L in soils with different textures and with different doses of biosolids, ii) to evaluate the absorption of some plant macro and micronutrients; iii) to evaluate the effect of biosolids on soil chemical properties. The study was conducted in a greenhouse using a completely randomized design in a 3 x 4 factorial scheme, with three types of soil textural class (Sand, represented by a Spodosol; Sandy loam, represented by an Ultisol (0-20 cm layer); and Sandy clay loam, represented by an Ultisol (20-40 cm layer) and 4 doses of biosolids (0, 16, 80 and 160 t ha⁻¹), with 3 replications. Plants were grown for 60 days in plastic pots containing 4 kg of soil. Soil moisture was kept at 70% of field capacity. The chlorophyll content and leaf area were measured at harvest. After harvest, shoot and root biomass, and concentrations of P, K, Zn and Cu in plant tissues were determined. Soil samples were collected from each pot after harvest and analyzed for pH, organic matter content, electrical conductivity, cation exchange capacity and concentrations of P, K, Ca, Mg, Na, Al, Zn and Cu. Plant growth was higher in soil with biosolids than in the control soil, regardless of soil texture differences. However, doses over 80 T ha⁻¹ did not cause the plant to grow at the same rate in the soils A and FA, but were more effective in the soil FAA. Biosolids caused increases in soil pH, organic matter, CEC and concentrations of P, Ca, K, Na, Cu e Zn, even though results varied with soil texture and doses of biosolids. The results confirm the advantages of using biosolids, however, they also show the importance of biosolids management in different soils.

Keywords: Biosolids, organic matter, *Jatropha*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das partículas minerais de solos de acordo com seus tamanhos.....	14
Tabela 2. Características químicas e análise textural dos solos antes da incubação com biossólido.....	27
Tabela 3. Composição química do biossólido usado no estudo.	28
Tabela 4. Resultado da análise de variâncias de clorofila total, área foliar, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz do pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido.	32
Tabela 5. Resultado da análise de variâncias das concentrações de fósforo (P), potássio (K), cobre (Cu) e zinco (Zn) na parte aérea e na raiz do pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com biossólido.....	36
Tabela 6. Fatores de transferência (FT) de zinco e cobre em plantas de pinhão manso cultivadas em solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristovão - SE.	43
Tabela 7. Resultado da análise de variâncias de pH, matéria orgânica (MOS), concentração de fósforo (P) e capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes biossólido e cultivados com pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.).	43
Tabela 8. Concentrações trocáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e sódio (Na), e condutividade elétrica (CE) dos solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes de biossólido e cultivados com pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.).....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos de interação entre os minerais de argila e moléculas orgânicas (adaptado de Paul and Clark, 1996).....	15
Figura 2. Efeitos da adição de matéria orgânica na fertilidade do solo e teores de carbono em geral (adaptado de Lal, 2006).	16
Figura 3. Leito de secagem do lodo de esgoto.	19
Figura 4. Biossólido após a secagem em leitos.	19
Figura 5. Planta adulta do pinhão-manso. Fonte: www.visaoglobal.org	23
Figura 6. Sementes de Pinhão Manso usadas para produção de biodiesel. Fonte: planeta sustentavel. abril.com.br.	24
Figura 7. Crescimento de plantas de pinhão manso em solo com diferentes classes texturais e tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão - SE.....	30
Figura 8. Clorofila total (A) e área foliar (B) do pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.	32
Figura 9. Biomassa da parte aérea (A) e da raiz (B) do pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.	34
Figura 10. Concentrações de potássio (K) na parte aérea (A) e na raiz (B) do pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.	37
Figura 11. Concentrações de fósforo (P) na parte aérea (A) e na raiz (B) do pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.	38
Figura 12. Concentrações de cobre (Cu) e zinco (Zn) na parte aérea e na raiz do pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.	40
Figura 13. pH, matéria orgânica, concentração de fósforo e CTC dos solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes de biossólido e cultivados com pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.).	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO GERAL.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 SOLOS.....	13
3.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	15
3.2.1 BENEFÍCIOS DA MATÉRIA ORGÂNICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	17
3.2.2 BENEFÍCIOS DA MATÉRIA ORGÂNICA NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO	17
3.3 BIOSSÓLIDOS NO SOLO	18
3.4 UTILIZAÇÃO DOS BIOSSÓLIDOS NA AGRICULTURA	21
3.5 CARACTERÍSTICAS DO PINHÃO MANSO.....	22
4 METODOLOGIA	26
4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	26
4.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO EM CONDIÇÕES PROTEGIDAS.....	27
4.3. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PLANTA.....	28
4.4. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLO	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1. CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS.....	30
5.2. CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) NAS PLANTAS	36
5.3. CONCENTRAÇÕES DE ZINCO (ZN) E COBRE (CU) NAS PLANTAS.....	39
5.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS APÓS O CULTIVO DO PINHÃO MANSO.....	43
CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O solo é um compartimento terrestre que apresenta grande dinamismo em seus constituintes e está intimamente ligado às suas características e aos processos que ocorrem na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera (Novais et al, 2007). Os solos das regiões tropicais possuem características relacionadas principalmente às condições ambientais, como temperatura, intensidade e frequência de precipitações pluviométricas e vegetação, apresentando uma série de desafios para o cultivo sustentável de plantas e para a manutenção da qualidade da água e dos agrossistemas. Nesses solos, o intenso grau de intemperização facilita o desenvolvimento de perfis profundos, muitas vezes bem drenados, de fácil mecanização e cultivo. Entretanto, o caráter textural da maioria desses solos, associado às condições climáticas, dificulta a manutenção e o acúmulo da matéria orgânica, componente de grande importância nesses solos.

Além de ser a grande reserva de nutrientes para o crescimento das plantas, a matéria orgânica contribui para a formação de agregados e consequentemente para a estrutura do solo, promovendo então porosidade adequada para os processos de retenção de água e de nutrientes, fluxo de água, crescimento radicular e aeração do solo. Nos solos cultivados, a intensa atividade agrícola e o uso de práticas de manejo convencionais promovem a degradação rápida da matéria orgânica do solo, sendo necessária a aplicação constante de resíduos orgânicos como restos culturais, esterco, resíduos agroindustriais etc., para evitar a redução da qualidade do solo e da produção agrícola. Porém, a taxa de decomposição da matéria orgânica varia em função das condições de temperatura, umidade e características do solo, especialmente a textura.

Um dos resíduos orgânicos que tem sido usado como condicionador de solos e como fonte de nutrientes, principalmente N, é o lodo de esgoto. O lodo de esgoto é um material orgânico resultante do processo de tratamento biológico de efluentes domésticos municipais ou águas residuárias municipais. Com a secagem e a calagem, o lodo de esgoto passa a chamar biossólido.

O biossólido, apesar de sua composição química variável, é rico em matéria orgânica e nutrientes essenciais para as plantas e microrganismos. Dependendo da origem das águas residuárias, os biossólidos podem conter quantidades elevadas de metais, como Zn, Cu e Cd, e, ou, xenobióticos, além de microrganismos patogênicos a animais e humanos. Em função dessas características, no Brasil, foram definidos critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, por meio da

Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Sendo assim, nem todas as culturas podem ser tratadas com esse tipo de resíduo orgânico.

No entanto, os benefícios do uso de biossólido nas características do solo e no crescimento de plantas são largamente reportados na literatura. Seu grande potencial de utilização no solo está associado não apenas a melhoria na qualidade do solo e na produtividade das culturas, mas também ao grande benefício ambiental pelo descarte adequado de um resíduo que é produzido em quantidades cada vez maiores, pois está associado ao crescimento e afluência da população humana.

No Brasil, a possibilidade de geração de grandes quantidades de biossólidos provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETEs) nos próximos anos tem causado preocupação, e soluções alternativas para sua reciclagem têm sido avaliadas. Dentre essas soluções, sua aplicação em solos agrícolas e florestais é a forma de reciclagem mais promissora. A aplicação de biossólidos nos solos pode além de contribuir para o aumento da concentração de nutrientes essenciais, melhorar os atributos físicos de solos altamente intemperizados.

Dentre as culturas aptas ao tratamento com biossólido estão as essências florestais e as plantas destinadas a produção de bioenergia, como o pinhão manso (*Jatropha curcas*), a qual foi usada no presente estudo.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento inicial do pinhão manso e alguns atributos químicos de solos com diferentes texturas e tratados com diferentes doses de biossólidos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SOLOS

Uma fina camada de solo cobre a maior parte da superfície da Terra. Essa camada, na maioria das vezes, possui poucos metros de profundidade e algumas vezes, apenas centímetros de profundidade, que pode parecer insignificante diante do tamanho da Terra. Porém, é nessa fina camada de solo que o reino vegetal e animal encontram o mundo mineral e estabelecem uma relação dinâmica. Plantas obtêm água e nutrientes essenciais do solo. Os animais dependem das plantas para sua sobrevivência. Os resíduos animais e vegetais voltam para o solo e são decompostos pela grande população de microrganismos existentes no solo. A vida é imprescindível ao solo, e o solo imprescindível à vida (Troeh & Thompson, 2007).

Os solos formam-se na natureza como consequência de cinco fatores: material de origem, clima, relevo, tempo e organismos. Pode-se dizer que são produtos do intemperismo sobre o material de origem da terra, que com o passar do tempo, a rocha, seu principal material de origem, é cada vez mais reduzida de tamanho pela ação do clima (chuva, vento, temperatura), que com ajuda dos organismos vivos (fungos, líquens, bactérias, o próprio homem, e outros), sofrem adições, perdas, transportes e transformações de matéria mineral e orgânica ao longo de sua formação (Coelho et al, 2013).

A decomposição das rochas leva à formação de pequenas partículas das quais os solos são constituídos, denominadas de partículas minerais. Essas partículas são misturadas às partículas orgânicas, provenientes da decomposição de pequenos animais e restos de plantas, dando origem às camadas superficiais do solo, muito importantes para o crescimento das plantas, pois são nelas que se concentram grande parte de suas raízes. Ao separar os constituintes minerais unitários que compõem os agregados ou torrões de um determinado horizonte do solo, verifica-se que eles são compostos de um conjunto de partículas individuais

que estão interligados em condições naturais (Lepsch, 2010). Essas partículas têm tamanhos bastante variados (Tabela 1), característica importante na definição dos diferentes tipos de textura.

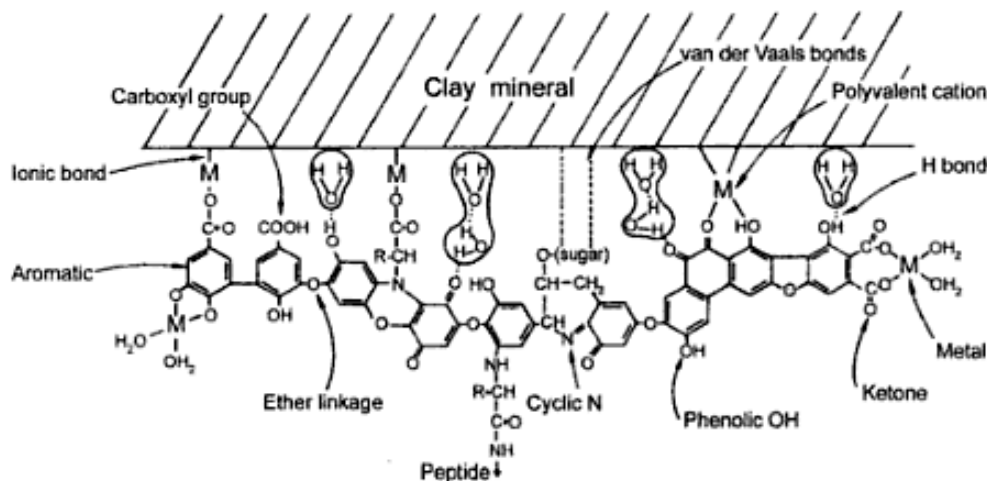
Tabela 1: Classificação das partículas minerais de solos de acordo com seus tamanhos.

<i>Fração</i>	<i>Diâmetro médio</i>
<i>Calhaus (ou pedras)</i>	<i>200 a 20 mm</i>
<i>Cascalho</i>	<i>de 20 a 2 mm</i>
<i>Areia</i>	<i>de 2 a 0,05 mm</i>
<i>Silte (ou limo)</i>	<i>0,05 a 0,002 mm</i>
<i>Argila</i>	<i>Menor que 0,002 mm</i>

Assim, um solo com textura arenosa apresenta grande quantidade de areia, acima de 70%. Se contiver entre 15 e 35% de argila, é chamado de textura média, e de textura argilosa se for constituído por uma quantidade de argila maior que 35% e menor que 60%. Solos com muita quantidade de argila, acima de 60%, são denominados de textura muito argilosa. A quantidade dos diferentes tamanhos das partículas minerais é obtida em laboratório, mas pode ser estimada no campo por pessoas experientes por meio do manuseio de uma amostra de solo umedecida. A matéria orgânica do solo tem uma íntima associação com as partículas minerais, principalmente com a argila, em função de suas propriedades coloidais, superfície específica e presença de cargas elétricas (Figura 1). Portanto, a eficiência e a eficácia da aplicação de resíduos orgânicos no solo dependem da textura do solo (Chen et al., 2014).

Essas partículas minerais não estão individualizadas no solo e sim agrupadas formando o que chamamos agregados do solo, que por sua vez, formam a estrutura do solo, uma característica utilizada para separar os diferentes tipos de solos e, juntamente com a textura, é responsável pela movimentação e retenção da água no solo. A associação da matéria orgânica com as partículas minerais e com os agregados do solo usualmente resulta numa redução na taxa de biodegradação da matéria orgânica. As raízes das plantas crescem mais ou menos dependendo do tipo de estrutura e textura que um solo contém.

Figura 1: Mecanismos de interação entre os minerais de argila e moléculas orgânicas (adaptado de Paul and Clark, 1996)



No Sistema de produção agrícola, o solo é o resultado de uma série de interações entre os minerais, as plantas e os organismos presentes no ambiente. Os fluxos que passam pelo sistema solo são dirigidos pelo fluxo de compostos orgânicos, constituído pela matéria vegetal adicionada pelas culturas e transformada pela biota edáfica, resultando na produção de uma sequência de compostos orgânicos intermediários, com tempo variável de permanência no solo, e liberação de parte da matéria na forma de CO_2 , caracterizando o fluxo de energia e matéria no sistema solo. Outros compostos orgânicos entram no sistema através de fontes externas e interagem da mesma forma com os demais componentes, promovendo a formação dos agregados do solo. Essa série de eventos e processos contribui para a formação das características do solo bem como sua qualidade.

Portanto, a sustentabilidade agrícola depende da manutenção e da reposição do componente orgânico do solo (Srinivasan et al., 2012).

3.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

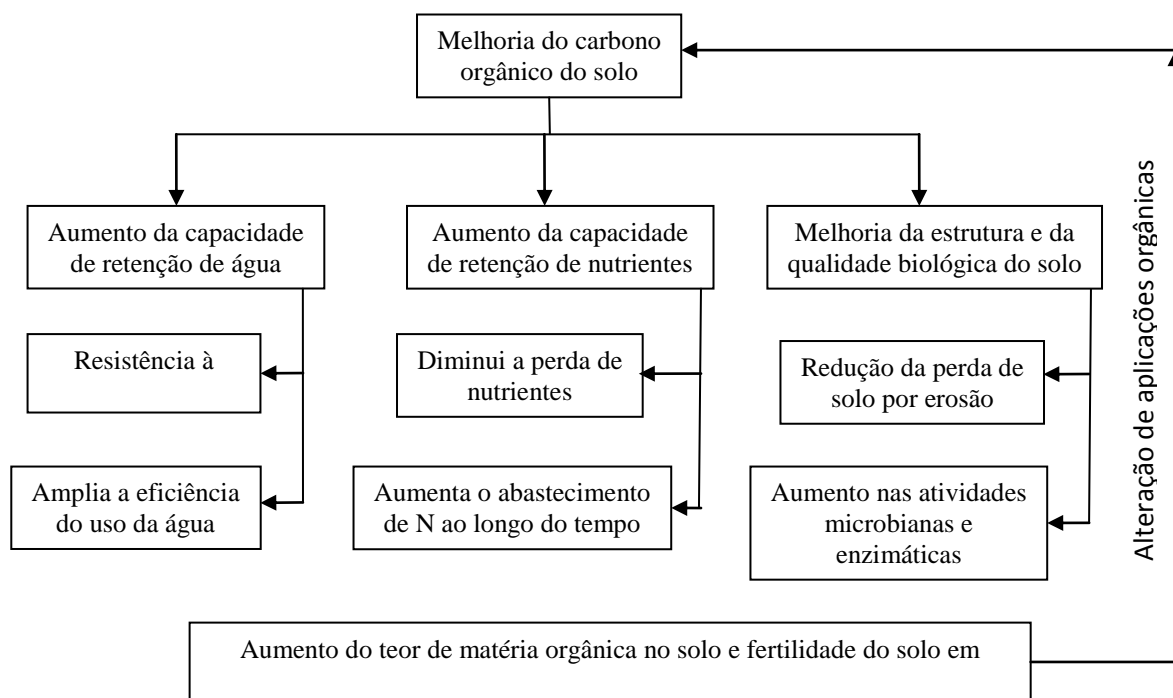
A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída por restos de plantas e outros organismos, em diferentes estados de decomposição. Em sistemas agrícolas onde não há entrada de nutrientes de fontes externas, a MOS é a principal fonte de nutrientes, como é o caso da agricultura de subsistência da região semiárida do nordeste do Brasil (Tiessen et al., 2001). Primaviesi (1990) ressalta que somente a adubação mineral não é capaz de manter

potencial máximo de nutrição às plantas e consequente produtividade, sem que haja retorno sistemático dirigido de matéria orgânica (MO) ao solo.

O volume de matéria orgânica do solo é determinado a partir do equilíbrio entre a entrada de materiais orgânicos ao solo e saída de CO₂, uma dinâmica controlada por taxas de deposição, decomposição e renovação de resíduos (Mulvaney et al., 2010). O incremento de MO é um processo lento, sendo favorecido quando há ausência de revolvimento do solo e permanência de resíduos culturais na sua superfície. Porém, a decomposição pode ser um processo rápido quando as condições de temperatura e umidade são favoráveis. Esse processo de adição e de perdas de matéria orgânica no solo desafia a manutenção e a melhoria da qualidade do solo.

Embora a maioria dos solos apresente menos de 5% de matéria orgânica, sua ação nas funções e nos processos biológicos, físicos e químicos do solo é significativa, principalmente nos solos tropicais (Figura 2). Os teores de MOS provenientes de resíduos vegetais são maiores até 10 cm de profundidade (Ciotta *et al.*, 2003; Arantes *et al.*, 2012), sendo ainda mais significativos na camada superficial até 5 cm (Falleiro *et al.*, 2003).

Figura 2: Efeitos da adição de matéria orgânica na fertilidade do solo e teores de carbono em geral (adaptado de Lal, 2006).



3.2.1 BENEFÍCIOS DA MATÉRIA ORGÂNICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

O comportamento físico do solo está intrinsecamente relacionado com características de seu espaço poroso, especialmente no que se refere à distribuição do tamanho dos poros, sua continuidade no perfil do solo e sua estabilidade no tempo. A distribuição do tamanho dos poros e sua continuidade no perfil são determinadas, basicamente, pela textura e pela estrutura do solo, ao passo que a estabilidade está relacionada com a consistência do solo. Contudo, a matéria orgânica tem papel fundamental na agregação e estabilização da estrutura do solo, consequentemente melhorando a aeração e a drenagem interna (Araújo, 2007).

A matéria orgânica tem implicações sobre o comportamento físico do solo, quer seja por atuar diretamente sobre alguns de seus processos físicos, quer seja por seus efeitos indiretos. Os efeitos diretos devem-se, basicamente, às propriedades da matéria orgânica do solo que influenciam alguns fenômenos físicos e químicos no solo, dentre as quais se destacam a elevada área superficial específica e a grande quantidade de cargas superficiais. Indiretamente, a matéria orgânica interfere no comportamento físico do solo por seus efeitos sobre a agregação e consistência do solo, atuando na formação de agregados e, portanto, na distribuição do tamanho de poros, bem como na sua estabilidade (Tian et al., 2013).

Na maioria dos solos de textura arenosa, a matéria orgânica do solo é responsável por grande parte da capacidade de retenção de água, podendo absorver de 5 a 6 vezes sua massa em quantidade de água. O conteúdo de água no solo é fundamental para que os nutrientes tornem-se disponíveis na solução do solo.

3.2.2 BENEFÍCIOS DA MATÉRIA ORGÂNICA NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

Uma das mais importantes e estudadas contribuições da matéria orgânica nas propriedades do solo é sua capacidade de suprir nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente nitrogênio. Os nutrientes podem ser retidos ou liberados pela matéria orgânica por meio de dois processos: i) biológicos, que controlam a retenção ou liberação de N, P e S, visto que estes elementos fazem parte de unidades estruturais da matéria orgânica; ii) químicos, que controlam as interações com cátions. Considerando que a matéria orgânica é frequentemente a maior fonte de cargas negativas nos solos tropicais, sua manutenção é muito importante para a retenção de cátions disponíveis no

solo. Sendo assim, deve-se tentar atingir um equilíbrio se desejar explorar as reservas orgânicas de N, P e S do solo (Silva e Mendonça, 2007).

Geralmente, 95% ou mais do N e S e entre 20 e 70% do P da camada superficial dos solos são encontrados na matéria orgânica. Cerca de 40 a 50% do N orgânico do solo estão na forma de aminoácidos. Com exceção das leguminosas e de outras espécies vegetais que fixam o nitrogênio molecular em simbiose com os microrganismos, as plantas absorvem o nitrogênio principalmente sob a forma mineral, nítrica ou amoniacal e, excepcionalmente, sob outras formas orgânicas como ácidos aminados e vitaminas. Essas formas minerais provêm, em grande parte, da ação dos microrganismos e dos complexos enzimáticos do solo, sobre a matéria orgânica (Kirkby et al., 2011).

A matéria orgânica do solo é fonte de energia e de substâncias que ajudam a constituir os corpos da maioria dos microrganismos, que desempenham atividades importantes para o solo. Certos compostos orgânicos, além de estimularem o crescimento das plantas, interferem diretamente no seu desenvolvimento (Brady e Weil, 2012).

A disponibilidade de materiais orgânicos que de outra forma constituiriam grave problema de disposição, de várias origens, principalmente procedentes de processo de sanitização de áreas urbanas, como lodo de esgoto doméstico, da indústria, como subprodutos da fabricação de carvão, ou da própria atividade rural, como o esterco de criações de aves ou suínos, tornam atraentes estudos que avaliem a possibilidade de uso destes materiais como melhoradores da qualidade do solo.

3.3 BIOSSÓLIDOS NO SOLO

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é o conjunto de instalações e equipamentos destinados à realização do tratamento de esgotos, sejam eles domésticos ou industriais (Silva *et al.*, 2004). Os tratamentos realizados na ETE resultam na geração, entre outros produtos, de um resíduo sólido (Figuras 3 e 4), representado pelo acúmulo de sólidos suspensos, chamado de Lodo de Esgoto (LE) ou bio sólido. O bio sólido contém matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida nos bio sólidos pode aumentar o conteúdo de húmus, que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no

solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão (Bettiol, 2011 e Camargo, 2000).

Figura 3. Leito de secagem do lodo de esgoto.



Figura 4. Biossólido após a secagem em leitos.



Entretanto, a aplicação desse lodo no solo deve ser planejada, para que não ocorram problemas posteriores, visto que podem provocar alterações nas propriedades físicas,

químicas e biológicas do solo, além da possibilidade de contaminação por agentes patogênicos (Bower; Idelovitch, 1987) e metais pesados, no caso do material de origem industrial. A aplicação direta no solo de lodo “fresco” pode não ser a melhor forma, pois a atividade microbiana pode retirar todo o oxigênio do solo, tornando-o impróprio para cultivo.

Por isso, esse resíduo passa a se tornar preocupante quanto à sua disposição final, tanto que no Brasil, em 29 de agosto de 2006, foi criada uma Resolução no Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, de número 375. Essa resolução *“Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”* (BRASIL, 2006).

De acordo com Prates (2010), o principal foco dessa resolução é a padronização do lodo de esgoto e a sua viabilização agrônômica. É por meio dela que são regidas todas as premissas legais para a sua disposição final, seja no aproveitamento desse resíduo no campo ou alternativas, como aterro sanitário. Essa Resolução apresenta onze Seções, que descrevem todos os critérios, definições, quantidades mínimas e máximas presentes no lodo de esgoto ou produto derivado permissíveis de elementos químicos e biológicos tóxicos, além de toda a normatização para o seu gerenciamento, desde a sua saída dos tratamentos das águas residuárias até a sua disposição final.

O Brasil possui uma crescente demanda por produtos florestais, implicando o aumento do consumo de fertilizantes minerais no setor florestal, ocasionado pela alta degradação dos solos destinados a essa atividade. Com base nisso, a utilização de fertilizantes orgânicos, tal como o biossólido, poderá contribuir para redução do uso de fertilizantes minerais. Além disso, quando utilizado como substrato para a produção de mudas, se torna uma alternativa para a redução de custos, tendo em vista sua disponibilidade e facilidade de aquisição.

Segundo Gonçalves *et al.* (2000), deve-se dar prioridade de uso para os substratos que constituem resíduos industriais ou urbanos, pois, além de diminuir o problema ambiental, geralmente são uma garantia de fornecimento de matéria-prima a longo prazo e baixo custo. Devido a isso, vêm sendo realizados estudos para que esse produto originado de estações de tratamento de esgoto passe a ser utilizado de forma adequada para fins agrícolas e florestais, já que esse material possui um potencial fertilizante.

3.4 UTILIZAÇÃO DOS BIOSSÓLIDOS NA AGRICULTURA

A utilização do lodo de esgoto na agricultura como adubo orgânico é reconhecida, hoje, como uma das alternativas mais promissoras para disposição final deste resíduo, em virtude de sua sustentabilidade. Porém, antes de ser utilizado em qualquer atividade agrícola, ele deve ser tratado e estabilizado para reduzir ou eliminar patógenos e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação do lodo e, conseqüentemente, seu potencial de produção de odores (Camargo et al., 2010).

Segundo Corrêa *et al.* (2010), aumentos significativos dos teores de nutrientes, matéria orgânica e CTC são frequentemente relatados após a incorporação de lodo de esgoto a solos e substratos e essa maior fertilidade resulta em plantas com maiores teores de nutrientes (Gomes *et al.*, 2007). Bezerra *et al.* (2006) destacaram o poder fertilizante do lodo produzido na estação de tratamento de esgoto do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, por causa das altas concentrações de N, P, K, Ca e Mg que o material apresentava.

De acordo com Jorge *et al.* (1991), o bio sólido é comprovadamente um excelente fornecedor de matéria orgânica, capaz de melhorar as propriedades físicas do solo porém não pode ser utilizado puro na produção de mudas devido, provavelmente, à sua baixa porosidade. Além de matéria orgânica, o bio sólido é um material rico em nutrientes, principalmente em nitrogênio e fósforo, com grande potencial para utilização agrícola como condicionador e fertilizante, em especial na recuperação de áreas degradadas em virtude da atividade mineradora (Brofas *et al.*, 2000). A aplicação agrícola do lodo de esgoto tratado vem sendo comprovada por trabalhos com diferentes culturas. Gomes *et al.* (2007) verificaram, por exemplo, que a produção de grãos de milho aumentou em função das doses de lodo de esgoto até a aplicação de 26 t ha⁻¹, a qual proporcionou a máxima eficiência agrônômica para a produção de milho. Resultado semelhante foi obtido por Barbosa *et al.* (2007), os quais encontraram melhores respostas de produtividade de milho na dose de 36 t ha⁻¹.

Galdos *et al.* (2004) encontraram aumento na produção no segundo ano da cultura do milho adubado com lodo de esgoto, comparativamente à do tratamento sem aplicação de lodo e com adubação química. Esses autores também concluíram que o monitoramento da área onde foi aplicado o lodo de esgoto se faz necessário, devido ao aumento de alguns metais pesados no solo, como Cu, Ni e Zn e, na planta, como Zn. Fernandes *et al.* (2003) relatam um

aumento de 43% da produção de feijão safrinha e 48% da produção de milho (grãos), quando o lodo foi utilizado no condicionamento dos solos.

Alcântara *et al.* (2003) compararam experimentos em que foram aplicados lodo caleado e lodo seco ao ar, na cultura do algodoeiro herbáceo. Os resultados obtidos com o lodo seco ao ar foram superiores aos do lodo caleado. A máxima produção foi de 46,64 g por planta para a dose de 300,4 kg ha⁻¹ de N. Segundo os autores, a secagem do lodo ao ar preserva a matéria orgânica e os nutrientes, ao passo que a caleação favorece a perda de nitrogênio, pela volatilização da amônia. Também pode ter ocorrido um aumento excessivo de pH do solo, o que teria provocado o desequilíbrio dos nutrientes, tornando-os indisponíveis para as plantas. Em Linhares/ES, o lodo foi utilizado nas culturas de mamão, banana e café, conforme Wanke (2003). Os autores ressaltam a necessidade de realização de um trabalho de sensibilização dos produtores rurais, com o intuito de demonstrar a viabilidade da utilização do lodo na agricultura.

A utilização do biossólido na produção de mudas de pinhão manso é uma alternativa bastante interessante, visto que o mesmo já foi objeto de estudo para diversas outras espécies vegetais, apresentando ótimos resultados, como Faustino *et al.* (2005), Lima *et al.* (2005), Trigueiro & Guerrini (2003).

3.5 CARACTERÍSTICAS DO PINHÃO MANSO

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie arbustiva, perene, pertencente à família das Euforbiáceas, que pode atingir até cinco metros de altura (Figura 5). A sua origem ainda não é bem definida e, segundo Heller (1996), é supostamente nativo da América Central, sendo encontrado em quase todas as regiões intertropicais, com ocorrência em maior escala nas regiões tropicais e temperadas. A referida espécie desenvolve-se bem tanto nas regiões tropicais secas como nas zonas equatoriais úmidas, e em solos áridos e pedregosos, podendo suportar longos períodos de secas. É encontrado desde o nível do mar até 1.200 m de altitude. Nos solos de encosta, local de pouca precipitação pluvial e exposto ao vento, o pinhão manso desenvolve-se pouco, não ultrapassando 2,0 m de altura.

A produtividade do pinhão manso é muito variável, dependendo da região, do método de cultivo e dos tratos culturais, bem como da regularidade pluviométrica e da fertilidade do solo. Segundo Brasil (1985), a produção anual de sementes, em plantio com espaçamento de

3,0m x 3,0m, pode atingir de 3.000 a 4.000 Kg ha⁻¹, ou até mais, dependendo do sistema de cultivo. Entretanto, Carnielli (2003) afirma que o pinhão-mansó leva de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, que se estende por 40 anos e produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare.

Figura 5. Planta adulta do pinhão-mansó. Fonte: www.visaoglobal.org



De acordo com Prates (2010), o pinhão manso é apontado como uma planta capaz de se desenvolver e produzir em terrenos marginais e apresentar bons resultados na recuperação de áreas degradadas. Essa planta, além de resistente à seca, pode se desenvolver em vários tipos de solo, inclusive naqueles arenosos, pedregosos, salinos, alcalinos e rochosos, os quais, sob o ponto de vista nutricional e físico, são restritivos ao pleno desenvolvimento de raízes. O pinhão manso vem sendo plantado com sucesso, visando ao controle de erosão, à contenção de encostas e dunas, e ao longo de canais, rodovias, ferrovias, e como cerca viva em divisões internas ou limites de propriedades rurais (SATURNINO *et al.*, 2005). Teixeira (2005) destaca que o pinhão manso, além da capacidade de produzir óleo vegetal, é tolerante ao déficit hídrico, é pouco exigente em nutrientes e apresenta boa capacidade de recuperação de áreas degradadas, em função de suas raízes se aprofundarem no solo; no entanto responde bem à fertilização do solo, com elevados aumentos na produtividade de sementes (Figura 6).

Já Laviola e Dias (2008) afirmam que o pinhão-manso extrai, pela colheita de frutos, elevada quantidade de nutrientes e, se não for adequadamente adubado, pode levar ao empobrecimento do solo ao longo dos anos de cultivo. Mais uma razão para a utilização de biossólido em áreas cultivadas com pinhão manso, pois esse resíduo possui elevada concentração de nutrientes.

Figura 6. Sementes de Pinhão Manso usadas para produção de biodiesel. Fonte: planeta sustentavel. abril.com.br.



A utilização de substratos orgânicos com características adequadas à espécie plantada possibilita redução do tempo de cultivo e do consumo de insumos, como fertilizantes químicos, defensivos e mão de obra (FERMINO e KAMPF, 2003).

Alves et al (2010) avaliando o efeito da adubação orgânica no crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha Curcas L.*) observaram que a adição de matéria orgânica como fonte de nutrientes promoveu incremento na altura das plantas, no número de folhas, área foliar e diâmetro do caule.

O pinhão manso tem importante valor agregado, uma vez que as suas sementes são aproveitadas para a extração de óleo, que pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de sabão e combustível. O aproveitamento econômico da planta, sem que seja necessária a sua retirada do meio, torna o pinhão manso uma excelente espécie para a

utilização na recuperação de áreas degradadas ou no enriquecimento de áreas de reserva ou de preservação permanente (PRATES, 2010).

4 METODOLOGIA

4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Para o plantio do pinhão manso foram coletadas amostras de solos com diferentes classes texturais. Dois tipos de solos foram avaliados; um Argissolo Amarelo coletado em uma área de pastagem, localizada na área experimental da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão, cuja classificação textural foi Franco Arenosa e Franco Argilo Arenosa, para as profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, respectivamente; e um Neossolo (classificação textural Areia) numa área localizada próximo ao Departamento de Veterinária da UFS. A razão para a escolha dessas amostras foi a diferença textural.

Após as coletas, as amostras de solos foram secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneira de malha 2 mm, para a caracterização química (pH, matéria orgânica, concentrações de Ca, Mg, K, Na, Al e P) e granulométrica. As frações granulométricas do solo foram quantificadas pelo método do densímetro (Bouyoucos), como descrito por EMBRAPA (1997). O pH foi determinado em água (1:2,5) solo:água destilada e leitura por potenciometria. A acidez potencial (H+Al) foi determinada pelo método SMP, no qual o solo, em contato com a solução tampão, provoca decréscimo do valor original do pH da solução. Os teores de fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) foram extraídos pelo método Mehlich 1 e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, exceto P que foi analisado por colorimetria. Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis foram extraídos em solução de KCl 1N, sendo a quantificação do Al determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹, segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). As concentrações de cobre (Cu) e zinco (Zn) foram determinadas após extração com solução Mehlich 1 e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. A CTC foi calculada pela soma das concentrações de Ca, Mg, Na, K, H + Al. A porcentagem de saturação por bases (S) foi calculada pela fórmula: $S = (Ca + Mg + K + Na/CTC) \cdot 100$. A porcentagem de sódio trocável (PST) foi calculada pela fórmula: $PST = (Na/CTC) \cdot 100$. O teor de Carbono orgânico total foi determinado pelo método volumétrico de Walkley – Black (NELSON E SOMMERS, 1982), com titulação do excesso de bicromato de potássio pelo sulfato ferroso amoniacal, conforme descrito por Embrapa (1997b). As características do solo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas e análise textural dos solos antes da incubação com biossólido.

Características do solo	Solo A	Solo FA	Solo FAA
pH	5,19	4,65	4,76
CE (dS m ⁻¹)	0,41	0,35	0,35
C (g kg ⁻¹)	12,6	6,48	5,52
Ca (Cmolc kg ⁻¹)	1,51	0,62	0,75
Mg (Cmolc kg ⁻¹)	1	0,69	0,43
Al (Cmolc kg ⁻¹)	0,01	0,15	0,17
Na (Cmolc kg ⁻¹)	0,69	0,44	0,47
K (Cmolc kg ⁻¹)	0,78	0,39	0,4
P (mg kg ⁻¹)	1,91	0,62	0,7
Zn (mg kg ⁻¹)	3,17	4,0	4,5
Cu (mg kg ⁻¹)	2,23	1,5	1
Areia (%)	94,3	67,0	53,4
Silte (%)	1,92	13,3	18,7
(Argila)	3,81	19,6	27,8
Areia muito grossa (%)	1,44	1,49	1,07
Areia grossa (%)	5,94	5,34	5,28
Areia media (%)	25,7	10,5	10,8
Areia fina (%)	51,5	15,3	10,5
Areia muito fina (%)	8,27	6,13	4,26
Classificação textural	Areia	Franco Arenosa	Franco Argilo Arenosa

- Solo A (classe textural Areia), solo FA (classe textural Franco Arenosa), solo FAA (classe textural Franco Argilo Arenosa)

De acordo com a resolução CONAMA Nº 420/2009 que “Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividade antrópica”, os teores de metais (zinco e cobre) atendem aos valores permitidos.

4.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO EM CONDIÇÕES PROTEGIDAS

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3 x 4, sendo 3 classes texturais (Franco Arenosa, Argissolo coletado na camada de 0-20 cm, Franco Argilo Arenoso, Argissolo coletado na camada de 20-40 cm e Areia, Neossolo) e 4

doses de biossólidos (0, 16, 80 e 160 t ha⁻¹), compondo 12 tratamentos, com 3 repetições. As doses de biossólido foram baseadas na concentração de N no material e na recomendação da adubação para a cultura do pinhão manso. O biossólido usado neste estudo foi coletado numa estação de tratamento de resíduos localizada em Recife, Pernambuco, após o processo de compostagem com calcário durante 70 dias. As características do biossólido estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química do biossólido usado no estudo.

Biossólido	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Cr	Mn	Ni	Zn
	g kg ⁻¹ mg kg ⁻¹								
R1	8,2	164	42,3	24,6	4,43	27703	1712	9872	5145	132,5	8,47	189,0	2,09	582,5
R2	8,2	120	41,4	18,5	4,11	29752	2071	13014	6368	102,3	12,8	199,5	5,25	576,9
R3	8,1	128	37,8	22,8	4,11	30737	2266	10941	5478	118,2	8,72	220,1	5,45	680,0
média	8,2	138	40,5	22,0	4,20	29398	2017	11276	5664	117,7	10,0	202,9	4,30	613,4

Os solos com as respectivas doses de biossólido foram incubados por uma semana em condições de capacidade de campo, para que o equilíbrio fosse atingido, antes do plantio do pinhão manso. Foram plantadas 3 sementes em cada vaso e após a germinação, apenas uma planta foi deixada no vaso. Após o plantio, as plantas cresceram por 60 dias e foram mantidas durante o experimento com umidade a 70 % da capacidade de campo. Não foi adicionado nenhum tipo de adubação.

4.3. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PLANTA

Aos 60 dias do plantio, foram avaliados os parâmetros fisiológicos: clorofila total, por um método não destrutivo, através do medidor de clorofila Clorofilog (Falker) que permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha. Foi também avaliada a área foliar utilizando-se um medidor de área foliar portátil (modelo LI-3000 LI-COR.inc) e a biomassa seca da planta (raiz e parte aérea) foi determinada após a secagem das plantas em estufa com temperatura de 60 °C por 72 horas.

Após a determinação da massa seca, as plantas foram trituradas em moinho tipo wiley e armazenadas para posterior análise. Para determinação dos teores de P, K, Cu e Zn na planta, amostras de plantas foram digeridas por duas horas em bloco digestor após a adição de

ácido nítrico. Depois foram retiradas do bloco, e adicionadas duas gotas de peróxido de hidrogênio, e retornaram para o bloco digestor por cerca de 15 minutos, em seguida foram retiradas, resfriadas, e foram diluídas com 50 ml de água destilada (USEPA, 1996). As suspensões foram filtradas, transferidas para recipientes com tampa e enviadas para o Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe – ITPS para análise. As concentrações de P, K, Cu e Zn foram determinadas de acordo com metodologia descrita em Embrapa (2005).

O cálculo do Fator de Translocação ($FT = \text{concentração do elemento na parte aérea} / \text{concentração do elemento nas raízes}$) (Marchiol et al., 2004) teve a finalidade de avaliar a habilidade da planta em translocar os metais pesados zinco e cobre das raízes para a parte aérea.

4.4. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLO

Após a colheita das plantas e separação das raízes, amostras de solo foram coletadas de cada vaso, secas ao ar e enviadas ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe – ITPS para análise. Foram determinados pH, Carbono Orgânico Total, concentrações de P, K, Ca, Mg, Na e Al. Foram determinados a condutividade elétrica - CE e a Capacidade de Troca Catiônica - CTC. Para essas análises, o ITPS utiliza os métodos descritos em EMBRAPA (1999).

4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

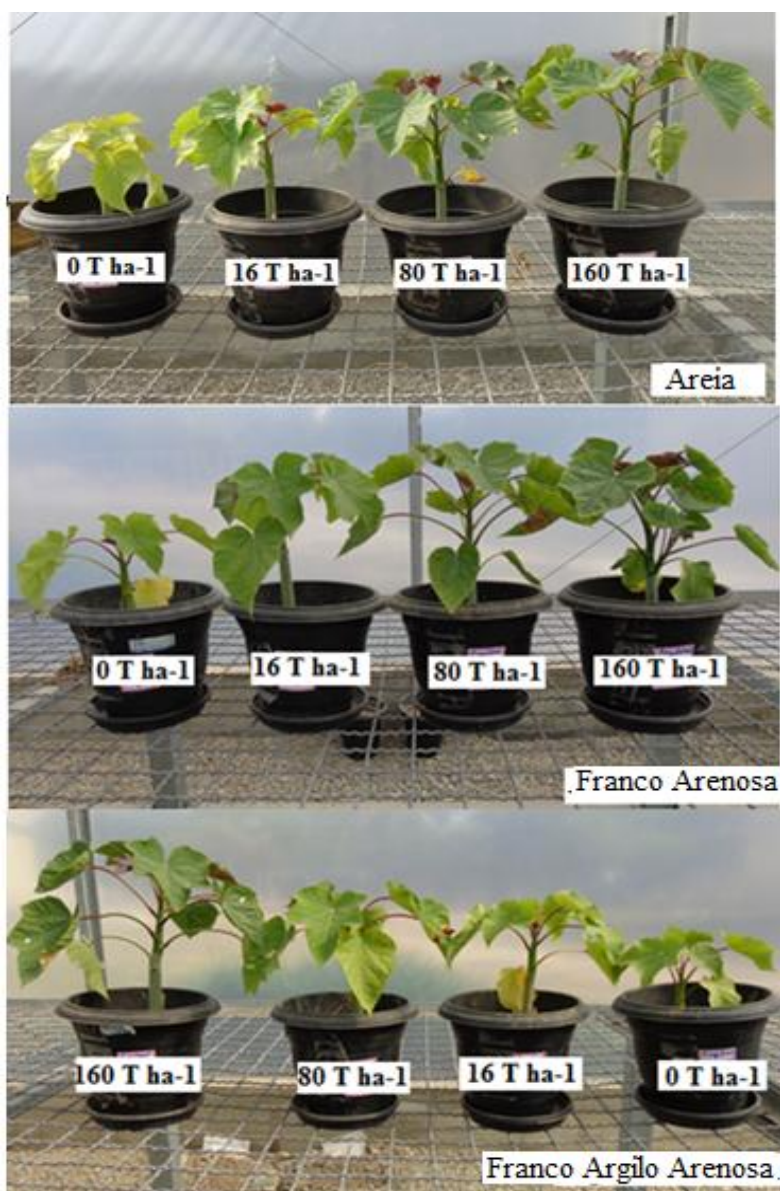
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) aplicando-se o teste F a 5% de probabilidade. As doses de biossólidos foram ajustadas a modelos polinomiais de regressão, testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste t utilizando o programa estatístico Software R (R core team, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS

Observando-se a Figura 7, nota-se que a adição de biossólido ao solo, independente da classe textural, promoveu melhor crescimento de plantas de pinhão manso, além de melhorar o estado nutricional das plantas, o que é evidenciado pela coloração mais esverdeada nos tratamentos com as maiores doses do resíduo.

Figura 7. Crescimento de plantas de pinhão manso em solo com diferentes classes texturais e tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristovão - SE.



As plantas de pinhão manso responderam positiva e significativamente às doses de biofósforos aplicadas aos solos, indicando a potencialidade agrícola do resíduo. Os parâmetros clorofila total e índice de área foliar estão apresentados na Figura 8 (A e B) e foram influenciados significativamente ($P < 0,01$) em função das doses de biofósforo (Tabela 4). Observou-se também interação significativa ($P < 0,01$) entre as doses de biofósforo e a textura dos solos.

Houve uma grande variação na clorofila total nas plantas de pinhão manso, tanto em função das doses de biofósforo quanto em função do tipo de textura do solo (Figura 8 A). Para as plantas que cresceram no solo com classe textural Areia (solo A), a clorofila total variou de 23-42 SPAD, no Franco Arenoso (solo FA), essa variação foi de 23-46, e no Franco Argilo Arenoso (solo FAA), a clorofila total variou de 18-42. A tendência apresentada na Figura 8 é de aumento na clorofila total com o aumento da dose de biofósforo no solo FA, porém, nos outros dois solos, observa-se um efeito negativo na clorofila total em doses de biofósforo maiores do que 100 T ha^{-1} , o que pode estar alinhado com a redução da área foliar das plantas nessa mesma dose (Figura 8 B). Resultado semelhante foi observado por Singh & Agrawal (2007) quando cultivaram *Beta vulgaris* em solo tratado com 20% e 40% de biofósforo, onde observaram uma redução no teor de clorofila das folhas. Os autores atribuem esse resultado à absorção excessiva de metais pesados pelas plantas, o que interfere nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas e consequentemente afeta os parâmetros morfológicos. Pode-se então inferir que, no solo A usado no presente estudo, o caráter altamente arenoso provavelmente favoreceu a maior decomposição do biofósforo e, consequentemente, maior liberação de nutrientes e metais pesados (Cu e Zn) no solo, possibilitando maior absorção pela planta, o que pode ter afetado a produção de clorofila.

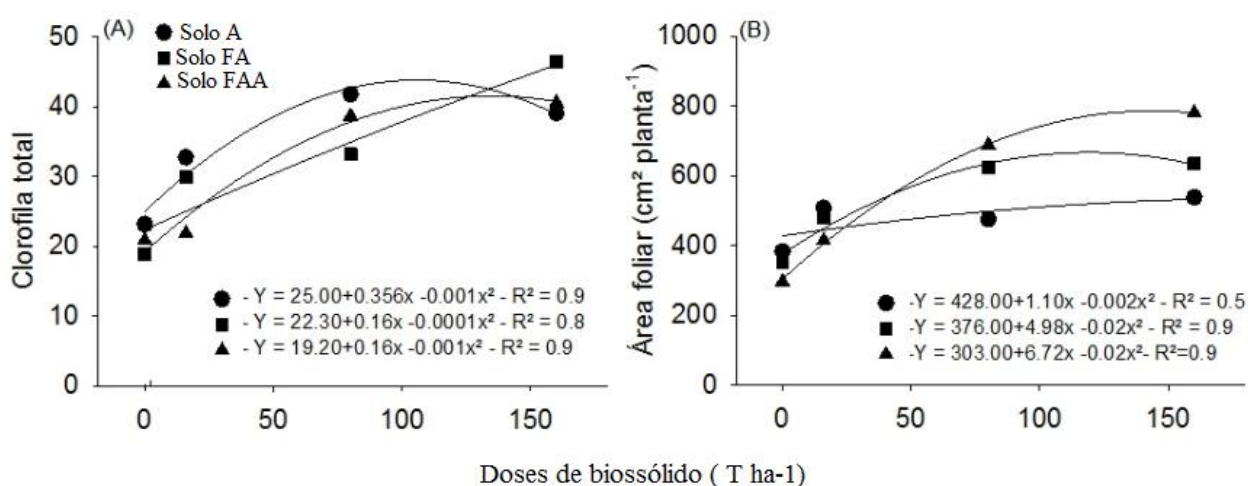
Interessante observar os aumentos de 100% e 133% na clorofila total no solo FA e no FAA quando comparamos o solo sem biofósforo e com a maior dose. O aumento no teor de clorofila significa maior taxa fotossintética das plantas e aumento na produtividade. Por outro lado, a menor área foliar e a degradação de clorofilas influenciam a taxa de assimilação líquida de carbono, resultando em menor taxa de assimilação cumulativa de carbono em nível de dossel, resultando em menor acúmulo de biomassa (Matos et al., 2013).

Tabela 4. Resultado da análise de variâncias de clorofila total, área foliar, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido.

Causas de variação	GL	Clorofila Total	Soma de quadrados		
			Área foliar	Parte aérea	Raíz
Textura (T)	2	21.9***	29873**	12,2*	432***
Biossólido (B)	3	322***	509069***	104**	112***
T x B	6	70.1***	156290***	28,2***	112***
Resíduo	24	17.6	57353	6,03	6,60

*, **, *** significativo ao nível de 5, 1 e 0,1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 8. Clorofila total (A) e área foliar (B) do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.



A aplicação de diferentes doses de biossólido influenciou a área foliar das plantas de pinhão manso nos três solos estudados (Figura 8 B). No presente estudo, a área foliar variou de 26-31% (solo A), 34-69% (solo FA) e 33-133% (solo FAA). A importância da área foliar de uma cultura é amplamente conhecida por ser um parâmetro indicativo de crescimento e produtividade (Lima et al., 2011), pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química. Além disso, o conhecimento da área foliar da planta permite a estimativa da perda de água, uma vez que as folhas são os principais órgãos que participam no processo transpiratório, responsável pela troca gasosa com o ambiente (Oliveira et al., 2009).

O aumento da área foliar foi mais expressivo com o aumento das doses de biossólido no solo FAA, o que provavelmente está relacionado com o aumento da biomassa da parte

aérea nesse solo. De uma forma geral, fontes ricas em macronutrientes, como o biofóssido, tendem a propiciar maior expansão dos tecidos foliares avaliados pelas medidas da área foliar, porém esse efeito pode ser limitado pela suficiência ou pelo excesso de nutrientes no substrato, quando suas concentrações ultrapassam a necessidade da cultura (Lima et al., 2011).

No trabalho de Medeiros (2011), os valores de área foliar ($100 - 500 \text{ cm}^2$) em resposta a crescentes doses de biofóssido também concordam com os encontrados nesse estudo. Os autores atribuem esses resultados aos benefícios da matéria orgânica no substrato de crescimento inicial das plantas de pinhão manso. Esses resultados reafirmam o reconhecimento de que a matéria orgânica do solo tem papel fundamental na determinação de sua fertilidade e chama a atenção para a adoção de práticas de manejo que preservem os resíduos culturais e estimulem a aplicação de resíduos orgânicos de diversas naturezas.

Após aplicarem esterco bovino ao solo para o cultivo de pinhão manso, Alves et al. (2010) observaram crescimento mais vigoroso, coloração verde mais escura das folhas e maior área foliar nas plantas.

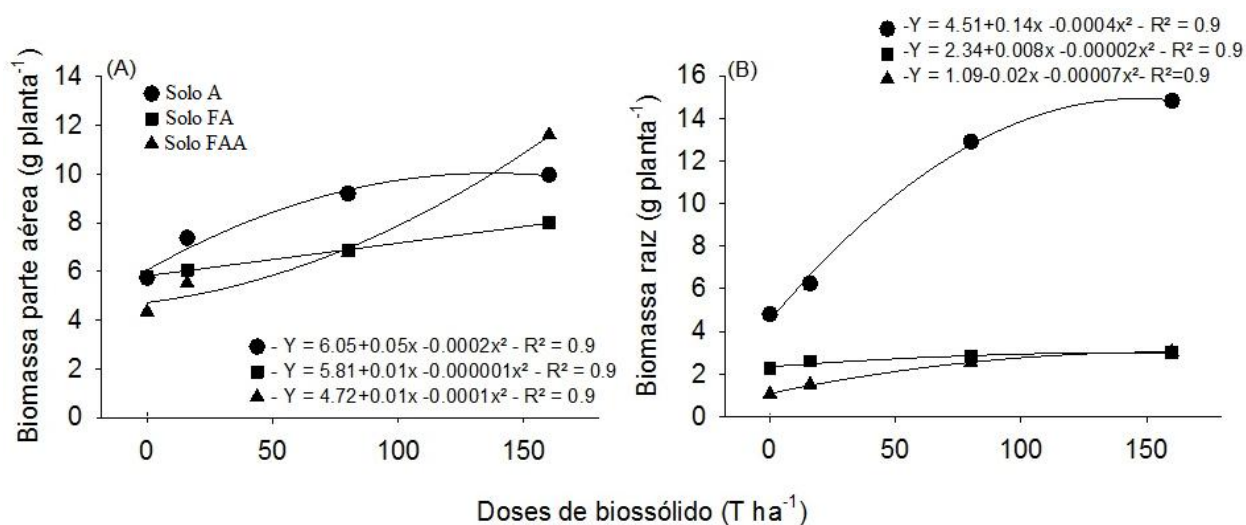
Com relação à produção de biomassa da parte aérea (Figura 9 A), houve uma variação de $5,74-9,95 \text{ g planta}^{-1}$ no solo A, $5,80-7,98 \text{ g planta}^{-1}$ no solo FA e $4,34-11,20 \text{ g planta}^{-1}$ no solo FAA. Quando comparado com o tratamento testemunha, sem aplicação de biofóssido, observaram-se aumentos de 28, 60 e 73 % no solo A; 4,4; 8,7 e 37 % no solo FA; e 27, 56 e 167 % no solo FAA, para as doses de 16, 80 e 160 T ha^{-1} , respectivamente. Essa grande variação no resultado mostra que o efeito do biofóssido depende realmente do tipo de solo. As plantas cultivadas no solo A e no solo FAA responderam bem à presença de biofóssido mesmo em doses menores (16 T ha^{-1}), aumentando em quase 30% a produção de parte aérea. Nesses mesmos solos, a aplicação de 80 T ha^{-1} produziu em média aproximadamente 60% a mais de biomassa. Porém, dobrando a dose de biofóssido, os solos A e FAA responderam diferentemente, sendo que a variação observada foi pequena no solo A (de 60 para 73%) e bastante elevada no solo FAA (de 56 para 167%).

Isto significa que, em solo muito arenoso, como o Neossolo Quartzarênico, doses muito elevadas de biofóssido não beneficiam o crescimento de plantas. Além disso, podem provocar problemas de contaminação ambiental. Já no solo com textura mais fina, como o solo FAA, ocorre maior interação do resíduo orgânico com os minerais de argila do solo (Lal, 1996; Chen et al., 2014), reduzindo a velocidade de decomposição do biofóssido, liberando menor quantidade de nutrientes e metais pesados para as plantas e com isso reduzindo

também o efeito tóxico das elevadas quantidades desses elementos na solução do solo, proporcionando maior crescimento de planta. Deve-se observar também que, o maior incremento de biomassa da parte aérea no solo FAA tratado com biossólido está relacionado com o resultado obtido no tratamento testemunha, onde foi observado um dos menores valores. Por se tratar de um solo coletado na camada de 20-40 cm de profundidade, o teor de matéria orgânica nativa é muito pequena, em avançado estado de humificação e fortemente associado aos minerais de argila. Por isso, a quantidade de nutrientes disponíveis é baixa. Assim, em solos com elevados teores de argila, há a necessidade de aplicação de maiores doses de biossólidos para que haja benefícios ao crescimento de plantas. Como esse solo possui elevada capacidade de retenção de água e elementos químicos, os riscos que podem ser provocados por doses elevadas de resíduos orgânicos são reduzidos.

Já quando o biossólido foi aplicado no solo FA, não houve um grande incremento na biomassa das plantas. Era de se esperar um crescimento significativo na matéria seca das plantas cultivadas nesse solo em função de se tratar de um solo com textura bastante arenosa (67% Areia), baixa concentração inicial de matéria orgânica ($6,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ C}$) e baixo pH (4,65). Em se tratando de biossólido tratado e com pH em torno de 8, seu uso agrícola potencialmente contribui para o aumento do pH do solo, com consequente melhoria do ambiente de crescimento da planta.

Figura 9. Biomassa da parte aérea (A) e da raiz (B) do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.



A presença de elevadas quantidades de N e P, entre outros, no biossólido, de uma forma geral, e comprovada na Tabela 2, contribuiu para os resultados observados. Muitos trabalhos reportam os benefícios da adição de biossólido no solo e o estímulo ao crescimento de plantas de diferentes espécies, tanto em experimentos de campo quanto em condições protegidas (Antolin et al., 2005; Araujo et al., 2007; Antolin et al., 2010). Medeiros (2011) avaliou a biomassa de plantas de pinhão manso após 60 dias de crescimento em substrato com biossólido, em condições protegidas, e encontrou resultados semelhantes aos observados no presente estudo. O autor também observou incrementos na biomassa das plantas com o aumento da dose de biossólido aplicada, variando de 3-9 g planta⁻¹, dados ajustados ao modelo linear crescente.

A massa seca de raízes variou de 4,8 a 14,81 g planta⁻¹ no solo A, de 2,26 a 3,02 g planta⁻¹ no solo FA e de 1,05 a 3,04 g planta⁻¹ no solo FAA (Figura 9 B). O melhor desempenho do sistema radicular foi observado no solo A, provavelmente pela maior quantidade de macroporos, característica peculiar em solo arenoso como o Neossolo. Também houve resposta positiva significativa com relação ao aumento das doses de biossólido nesse solo, sendo que as doses de 16, 80 e 160 T ha⁻¹ resultaram em aumentos de 30, 168 e 208%, respectivamente, superior à testemunha. Nos solos FA e FAA, a massa seca de raiz foi menor quando comparada ao solo A, mesmo no tratamento testemunha. Porém, no solo FAA, observou-se aumento de 44, 141 e 208 % nas doses de 16, 80 e 160 T ha⁻¹.

Em média, a relação parte aérea e raiz (PA/R) foi de 0,94; 2,49 e 3,55 para os solos A, FA, FAA, respectivamente. O aumento da relação PA/R com o aumento do teor de argila do solo significa um descompasso na partição de biomassa e pode ser explicado pela redução da porosidade de aeração ou macroporosidade do solo, principal canal de crescimento do sistema radicular das plantas. Ao contrário do que foi reportado em outros trabalhos (Maldonado, 2004; Trigueiro e Guerrini, 2003; Camargo et al., 2010), o aumento da dose de biossólido, no presente estudo, não resultou em redução no sistema radicular das plantas. Segundo Maldonado (2004), a presença de partículas de granulometria muito fina no biossólido geralmente pode causar redução na macroporosidade do solo e conseqüentemente, menor a capacidade de trocas gasosas. Nesse caso, o crescimento radicular das plantas poderia ser afetado tanto pela restrição física à penetração em espaços muito pequenos quanto pela redução na aeração do solo.

A aplicação de doses elevadas de biossólido no solo deve ser realizada com cautela em função do risco de contaminação dos aquíferos superficiais e subterrâneos, principalmente quando se trata de solos arenosos, com elevada porosidade de aeração e com baixa capacidade de retenção de água, elementos químicos e moléculas orgânicas.

5.2. CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) NAS PLANTAS

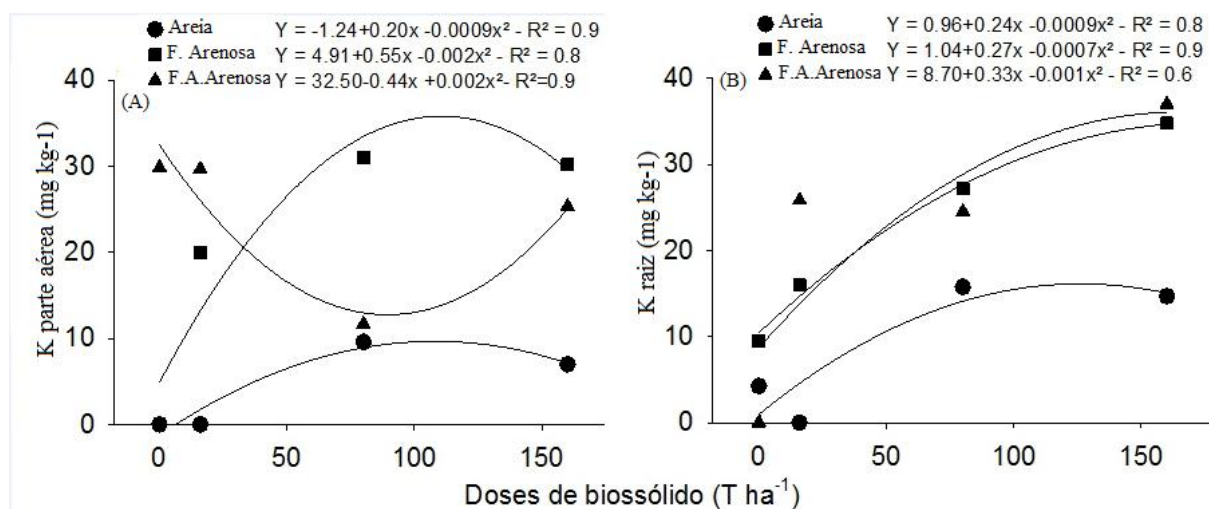
As concentrações dos macronutrientes K e P foram determinadas na parte aérea e nas raízes das plantas de pinhão manso (Figuras 10 e 11). Houve efeito significativo ($P < 0,01$) para os dois elementos em função da textura do solo, das doses de biossólidos e da interação entre os dois fatores de variação (Tabela 5). No solo A, não houve uma resposta positiva das concentrações de K na parte aérea da planta com a adição de biossólido, variando de 0 a 7.0 g kg⁻¹ (Figura 10 A), valores considerados baixos para a cultura. Porém, a concentração de K na raiz aumentou de 2.0 g kg⁻¹ (16 t ha⁻¹) para 14.7 g kg⁻¹ (160 t ha⁻¹) (Figura 10 B), um aumento de 633%. No solo FA, a concentração de K na parte aérea aumentou proporcionalmente à dose de biossólido, até 80 t ha⁻¹, onde atingiu um nível satisfatório de 27 g kg⁻¹, a mesma tendência sendo observada para a raiz. Já no solo FAA, houve resposta positiva do K apenas nas raízes, variando de 5.0 a 34 g kg⁻¹. Camargo et al. (2013) aplicou doses de biossólido que variaram de 0 a 40 % em substrato para o cultivo de pinhão manso e não observaram alterações significativas na concentração de K (27,3 a 28,5 g kg⁻¹) nas plantas.

Tabela 5. Resultado da análise de variâncias das concentrações de fósforo (P), potássio (K), cobre (Cu) e zinco (Zn) na parte aérea e na raiz do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com biossólido.

Causas de variação	GL	Soma de quadrados							
		Parte aérea				Raiz			
		P	K	Cu	Zn	P	K	Cu	Zn
Textura (T)	2	1.599**	2697.7***	0.5609***	0.5609***	2.166**	1388.7***	0.909***	79.24***
Biossólido (B)	3	13.981***	558.7***	0.5671***	0.5671***	17.935***	2986.6***	0.5866***	23.76***
T x B	6	9.486***	2186.5***	0.4107***	0.4107***	6.14***	886.8***	0.3774***	21.06***
Resíduo	24	3.138***	243.4***	0.0662***	0.0662***	3.531***	172.9***	0.1705***	4.33***

*, **, *** significativo ao nível de 5, 1 e 0,1 % de probabilidade, respectivamente.

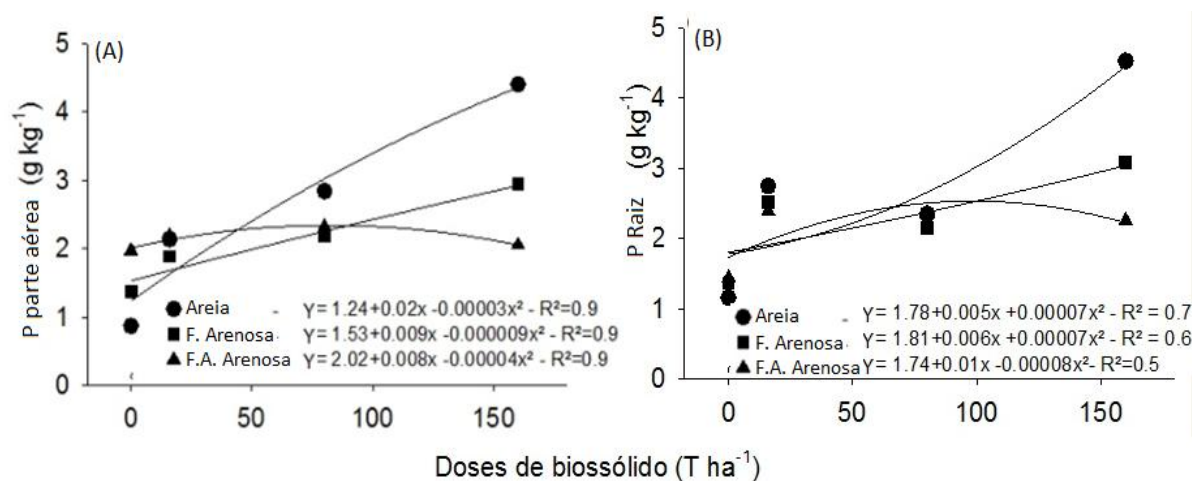
Figura 10. Concentrações de potássio (K) na parte aérea (A) e na raiz (B) do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE.



Embora a concentração de K no biossólido usado neste estudo seja considerada baixa ($4,20 \text{ g kg}^{-1}$), como na maioria dos biossólidos, as plantas de pinhão manso concentraram K a níveis acima de 20 g kg^{-1} nos solos FA e FAA tratados com mais de 80 T ha^{-1} de biossólido. Nos Estados Unidos, a média da concentração de K no biossólido proveniente de sistemas anaeróbicos é de 3 g kg^{-1} , e na Alemanha, de $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ (Wen et al., 1997). No Brasil, esse valor é ainda mais baixo na maioria dos biossólidos ($1,3 \text{ g kg}^{-1}$). Apesar da elevada variabilidade anual e regional de K nos biossólidos, as concentrações de K podem ser ainda menores nesse resíduo em função da elevada perda de K no efluente.

O aumento da quantidade de biossólido não resultou em aumento da concentração de P nas plantas de pinhão manso cultivadas no solo FAA, que variou de 2.0 a 2.2 g kg^{-1} na parte aérea e 1.2 a 2.2 g kg^{-1} na raiz (Figura 11 A e B). Esse resultado provavelmente está associado tanto à menor taxa de decomposição do biossólido nesse solo, dificultando a liberação do P, que na sua grande maioria está associada às moléculas orgânicas no resíduo, quanto a presença de grande quantidade de argilas oxidadas nesse solo (horizonte Bt), que forma complexos de esfera interna e, portanto com grande estabilidade química, reduzindo a quantidade de P disponível no solo. A baixa disponibilidade deste nutriente no solo e a forte tendência da quantidade aplicada de reagir com componentes do solo formando compostos de baixa solubilidade fazem com que o P seja aplicado em maiores quantidades em adubação nos solos do Brasil (Furtini Neto et al., 2001).

Figura 11. Concentrações de fósforo (P) na parte aérea (A) e na raiz (B) do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE



Outro fator importante que provavelmente deve ter influenciado a menor concentração de P nas plantas cultivadas no solo FAA foi a redução do sistema radicular, onde observamos relação parte aérea/sistema radicular de 3.70, o que significa que a planta distribuiu quase 4 vezes mais energia na produção de parte aérea do que de raiz. É amplamente conhecido que a maior parte do P no solo se move até as raízes da planta por difusão, um movimento lento e influenciado profundamente pelas características do solo (Lal, 2006). O fósforo se move por difusão, em média, somente de 1 a 2 mm no solo; desta forma, apenas o P que se encontra a esta distância das raízes está estrategicamente disponível para ser absorvido. Portanto, quanto menor for o sistema radicular, mais dificuldade a planta terá para acessar e absorver o P presente no solo (Grant et al., 2001).

Dentre os macronutrientes, o fósforo é o exigido em menores quantidades pelas plantas, porém não é pequena a sua importância para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois participa de vários processos metabólicos, como a transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N_2 . Para tanto, as plantas são capazes de concentrar mil vezes mais P em seus tecidos do que a quantidade de P na solução do solo. Embora a concentração de P na solução do solo seja menor do que $50 \mu\text{g kg}^{-1}$, a concentração de P nas células vegetais varia de $0,50$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ (Marschner, 2011). No presente estudo, as concentrações de P na planta variaram de $1,1$ a $4,5 \text{ g kg}^{-1}$, sendo que, apenas na maior dose de biossólido (160 T ha^{-1}), a concentração de P na planta atingiu um nível ($4,0$ a $4,5 \text{ g kg}^{-1}$) que se encontra na faixa da demanda de P pelas

plantas para um crescimento ótimo, confirmando o efeito positivo do uso de biossólido no solo.

Os efeitos da aplicação de biossólido na concentração de P nas plantas são variáveis e controversos. Camargo et al. (2013) encontraram concentrações de P que variaram de 2,47 a 4,32 g kg⁻¹ em plantas de pinhão manso cultivadas com biossólido, porém a adição de 20% de biossólido ao substrato reduziu o teor de P foliar para 2,48 g kg⁻¹, abaixo dos valores de referência da CFSEMG (1999) para a mamoneira, pertencente à mesma espécie, pois ainda não há valores de referência para o pinhão-manso. Já Silva et al. (2008) reportaram aumento da concentração de P nas folhas de eucalipto com as maiores doses dos biossólido. Esses resultados confirmam as particularidades do uso de biossólido em diferentes solos e em diferentes espécies vegetais.

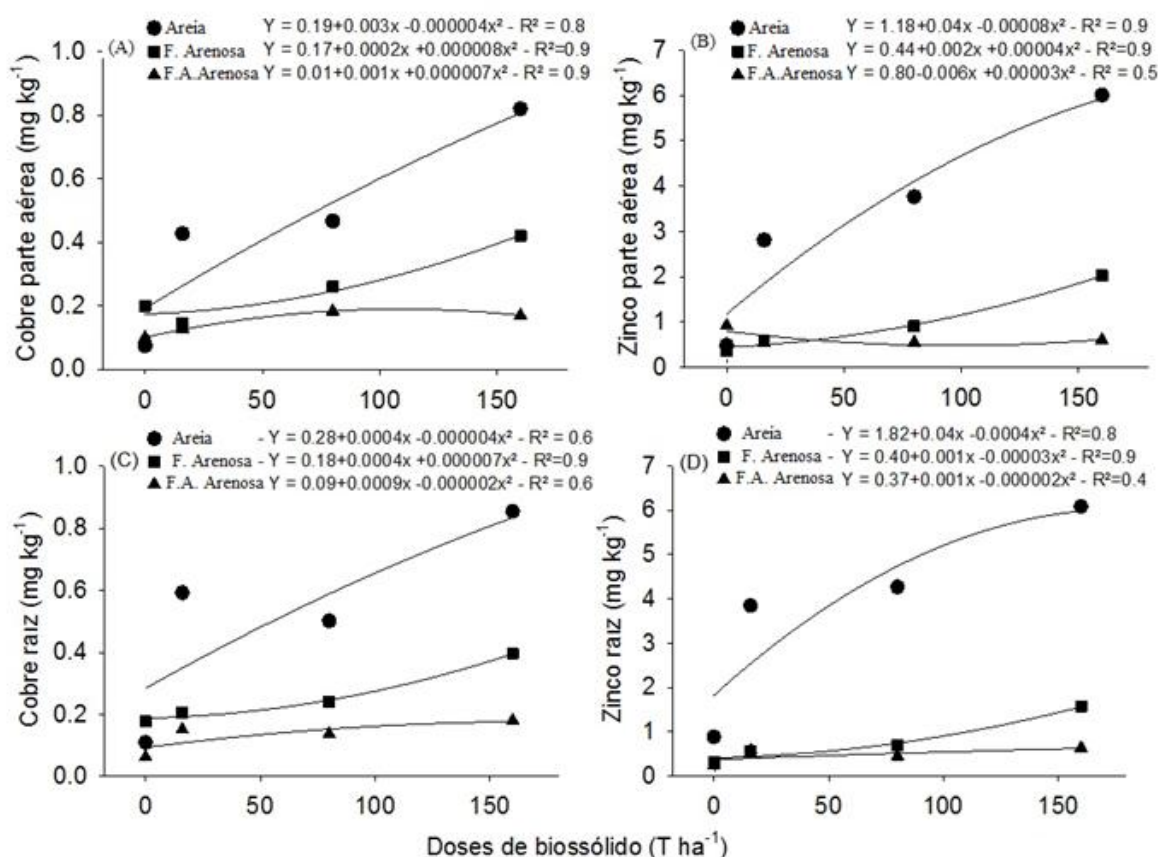
5.3. CONCENTRAÇÕES DE ZINCO (ZN) E COBRE (CU) NAS PLANTAS

Houve efeito significativo ($P < 0,01$) para as concentrações de cobre e zinco em função da textura do solo, das doses de biossólidos e da interação entre os dois fatores de variação (Tabela 5).

As maiores concentrações de Zn, tanto na parte aérea quanto nas raízes, foram observadas nas plantas cultivadas no solo A, variando de 0,7 a 6,0 g kg⁻¹, na parte aérea, e de 0,9 a 6,5 g kg⁻¹ na raiz (Figura 11 B e D). Observa-se também, no solo A, aumento crescente de Zn na parte aérea (5, 5,4 e 6,6 vezes mais Zn nas doses 16, 80 e 160 T ha⁻¹ de biossólido, respectivamente). Provavelmente, o caráter arenoso desse solo estimulou a decomposição do biossólido, disponibilizando maior quantidade de Zn na solução do solo e possibilitando maior absorção pelas plantas. Quando as plantas foram cultivadas no solo FA, as concentrações de Zn se mantiveram baixas na parte aérea e na raiz, mesmo assim, houve um aumento de 300% na concentração de Zn na planta na maior dose de biossólido. Contudo, o mesmo não aconteceu no solo FAA, onde não houve resposta alguma dos tratamentos. Esse resultado pode estar relacionado com as mesmas causas que contribuíram para a baixa absorção de P pelas plantas, e já explicadas no texto. Além disso, pode ter ocorrido a associação de P e Zn nesse solo, tornando a disponibilidade de ambos um fator limitante (Yang et al., 2011). As interações de Zn com P são muito importantes e tornam-se ainda mais críticas em solos com suprimento limitado desses dois elementos. Níveis elevados de P no solo também podem causar deficiência de Zn, por co-precipitação, formando complexos

insolúveis. Yang et al. (2011) observaram que P e Zn apresentaram comportamento antagônico nas raízes de plantas de trigo, sendo que o excesso de P inibiu a absorção de Zn.

Figura 12. Concentrações de cobre (Cu) e zinco (Zn) na parte aérea e na raiz do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em diferentes classes texturais de solos tratados com doses crescentes de biossólido. São Cristóvão, SE



Vários trabalhos demonstram aumentos nas concentrações de metais pesados como Zn e Cu nas plantas em função da adubação com biossólido (Martins et al. (2003); Gomes et al. (2007), Abreu et al. (2007), Camargo et al. (2013)), fato que merece considerável atenção quando da utilização desse resíduo para fins agrícolas, embora em muitos trabalhos, as concentrações desses metais estejam dentro dos limites aceitáveis (Nogueira et al., 2007). Anjos & Mattiazzi (2000) avaliaram a fitodisponibilidade de metais pesados em diferentes solos sistematicamente tratados com biossólido e constataram que os teores de Zn nas folhas de plantas de milho foram sempre maiores nos tratamentos com adição do resíduo.

Em seu estudo com pinhão manso cultivado em substrato com biossólido, Camargo et al. (2013) encontraram concentrações de Zn muito superiores (21 a 83 mg kg⁻¹) às encontradas no presente estudo. Além das possíveis diferenças entre os solos usados, a

concentração de Zn no bioossólido utilizado pelos autores (1064 mg kg^{-1}) foi bem maior do que a concentração de Zn no bioossólido usado no presente estudo (613 mg kg^{-1}). Outro fator que pode ter contribuído para essa diferença foi o pH do bioossólido, 6,0 no estudo de Camargo et al. (2013) e 8,2 no presente estudo. Pode-se considerar também que o pH do bioossólido usado neste estudo (Tabela 3) deve ter influenciado na baixa disponibilização do Zn no solo. Além disso, a adição de bioossólido provocou aumento no pH dos solos, cujo efeito mais acentuado foi observado solos FA e FAA. Com exceção do Mo, a disponibilidade de micronutrientes, como Zn, geralmente diminui com o aumento do pH. Portanto, pH elevado reduz a dessorção de Zn da superfície das partículas do solo, o que reduz a disponibilidade de Zn para as plantas. Em alguns estudos, a correção da acidez do solo provocou aumento do pH do solo de 5,2 para 6,8, resultando em redução de 10 vezes na concentração de Zn nas plantas avaliadas (Sadeghzadeh, 2013).

A nutrição vegetal com Zn é de grande importância, pois o Zn é um dos elementos traços essenciais para o crescimento normal e saudável das plantas. O elemento é requerido como componente estrutural de várias moléculas de proteína (Figueiredo *et al.*, 2012). Sua deficiência pode causar grandes reduções na qualidade e na produtividade das culturas, um fator muito comum em solos muito intemperizados das regiões tropicais e solos calcários das regiões semi áridas, com alto pH e textura essencialmente arenosa (Sadeghzadeh, 2013).

Segundo Sadeghzadeh (2013), o Zn é absorvido pelas plantas através dos mecanismos de fluxo de massa, difusão e interceptação radicular. Porém em solos pobres em Zn como os solos utilizados neste estudo, a difusão e a interceptação radicular desempenham papel mais expressivo. Assim como aconteceu com a absorção de P nos solos FA e FAA do presente estudo, a absorção de Zn pode ter sido limitada pelo menor crescimento do sistema radicular das plantas.

O cobre (Cu) apresentou um comportamento semelhante ao Zn nesse estudo (Figura 12 A e C). No solo A, as concentrações de Cu variaram de 0,09 a 0,82 g kg^{-1} (parte aérea) e 0,11 a 0,85 (raiz). No solo FA, houve resposta positiva das plantas à absorção de Zn, porém com menor expressividade. As plantas que cresceram no solo FAA, absorveram de 2 a 3 vezes mais Cu nos tratamentos com bioossólido do que no controle. Martins et al. (2003) observaram baixa relação entre a aplicação de bioossólido e os níveis de Cu em folhas de milho, apesar dos níveis desse metal terem sido considerados elevados no resíduo. O cobre

tende a formar complexo estável com a matéria orgânica fazendo com que somente pequena fração deste elemento fique disponível à cultura.

Camargo et al. (2013) encontram concentrações de Cu muito maiores (6,8 a 13,7 mg kg⁻¹) em folhas de pinhão manso cultivadas em substrato com biossólido, provavelmente devido a maior concentração de Cu no biossólido (1552 mg kg⁻¹). O biossólido usado no presente estudo apresenta concentração de Cu (117 mg kg⁻¹) muito menor do que a do estudo de Camargo. Portanto, independente das doses de biossólido aplicadas ao solo, as concentrações de Zn e Cu nas plantas de pinhão manso foram muito baixas.

Os teores normais de Cu no solo e nas plantas podem variar de 6 a 80 mg kg⁻¹ e de 5 a 20 mg kg⁻¹, respectivamente (McBride, 1994). Concentrações de Cu nas plantas de 20 a 100 mg kg⁻¹ são consideradas críticas, causando danos ao tecido e ao alongamento das raízes, alterações na permeabilidade da membrana, inibição do transporte de elétrons fotossintéticos, imobilização do elemento nas paredes e vacúolos e clorose (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992). No presente estudo, as concentrações de Cu ficaram bem abaixo de 10 mg kg⁻¹, encontrado por Laviola & Dias (2008), em folhas de pinhão manso.

Um parâmetro de grande importância no estudo da absorção de metais pesados pelas plantas é o fator de translocação (FT), que representa a razão entre a concentração do elemento na parte aérea e a concentração do elemento na raiz, estimando assim a eficiência da planta em transferir o elemento absorvido de um compartimento para outro (Alushlari et al., 2014). Quando o valor do FT for maior que 1, diz-se que houve eficiência da planta em alocar o elemento em determinado compartimento.

Na Tabela 6, pode-se observar que as plantas concentraram maior quantidade de Zn e Cu nas raízes quando foram cultivadas no solo A. Além disso, houve um aumento do FT nesse solo com o aumento da dose de biossólido. Pode-se inferir que, quanto maior a concentração de Zn nesse tipo de solo, maior será a absorção de Zn pelas plantas e maior será sua capacidade de transferir esse elemento da raiz para outras partes da planta. Já as plantas cultivadas no solo FA foram mais eficientes, pois apresentaram um FT >1, para todas as doses de biossólido aplicadas, com exceção do FT de Cu na dose de 16 T ha⁻¹ de biossólido. As plantas que cresceram no solo FAA, sem adição de biossólido e com adição de 80 T ha⁻¹, se mostraram muito eficientes em transferir o Zn e o Cu absorvidos para a parte aérea.

Em se tratando de dois micronutrientes de planta, Zn e Cu são normalmente translocados com maior eficiência para a parte aérea do que a maioria dos metais pesados que não são essenciais nem requeridos pelos vegetais. Porém esse estudo mostrou que o

fornecimento e a distribuição desses micronutrientes na planta dependem também de sua concentração no solo e na própria planta. Yoon et al. (2006) observou que as plantas que são eficientes em translocar Zn das raízes para a parte aérea, também são com o cobre, e vice versa. Não existem muitos trabalhos na literatura com registros sobre a eficiência das plantas de pinhão manso em translocar micronutrientes e metais pesados. Porém, Laviola & Dias (2008) reportaram que Zn e Cu foram os que menos se acumularam nas folhas dessas plantas.

Tabela 6. Fatores de transferência (FT) de zinco e cobre em plantas de pinhão manso cultivadas em solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes de biofósforo. São Cristóvão - SE.

Classe textural	Doses de biofósforo (T ha ⁻¹)			
	0	16	80	160
----- FT de zinco (Zn) -----				
Solo A	0,55	0,74	0,90	0,99
Solo FA	1,22	1,03	1,31	1,29
Solo FAA	4,16	0,92	1,25	0,95
----- FT de cobre (Cu) -----				
Solo A	0,76	0,73	0,99	0,97
Solo FA	1,14	0,73	1,10	1,10
Solo FAA	1,88	0,84	1,34	0,97

5.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS APÓS O CULTIVO DO PINHÃO MANSO

Houve efeito significativo ($P < 0,01$) para o pH, matéria orgânica do solo, concentração de P no solo e capacidade de troca de cátions (CTC) em função da textura do solo, das doses de biofósforos e da interação entre os dois fatores de variação (Tabela 7, Figura 13).

Tabela 7. Resultado da análise de variâncias de pH, matéria orgânica (MOS), concentração de fósforo (P) e capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes biofósforo e cultivados com pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).

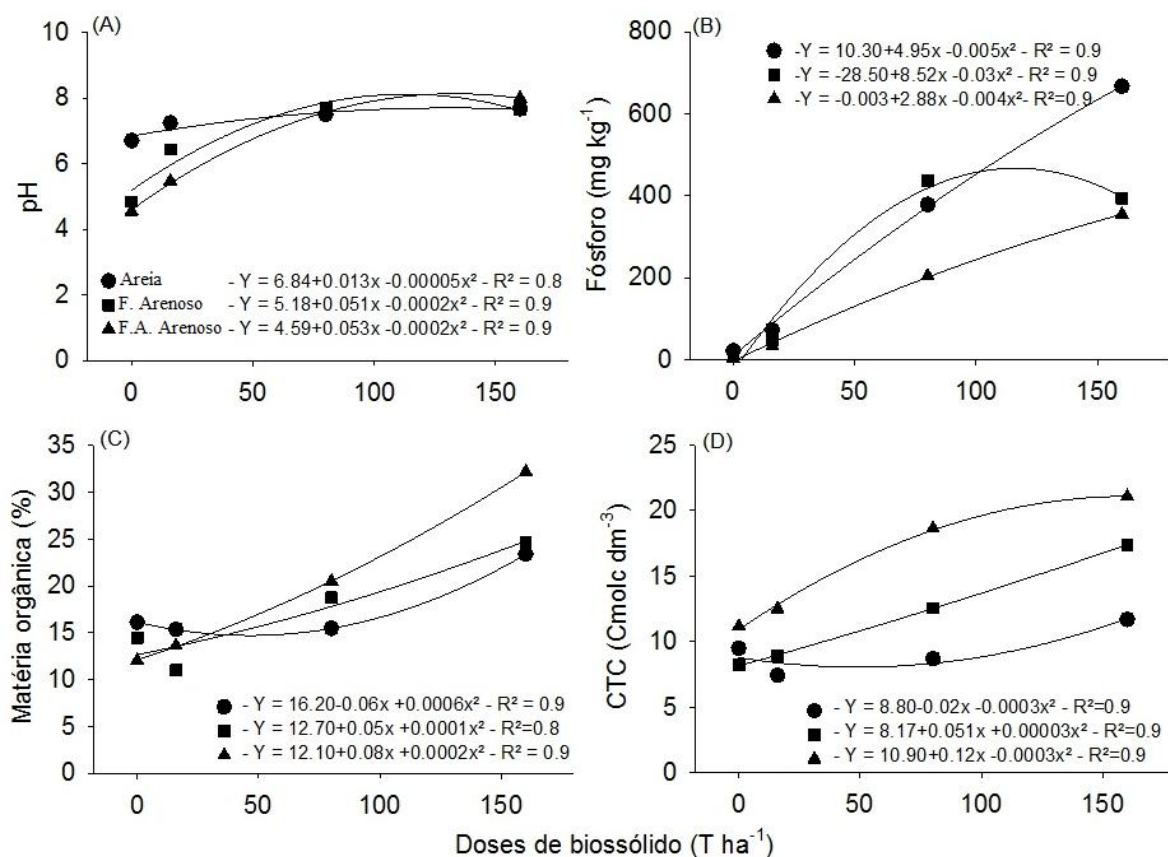
Causas de variação	Soma de quadrados				
	GL	pH	MOS	P	CTC
Textura (T)	2	4.97***	39.0ns	111655***	259***
Biofósforo (B)	3	34.2***	1009***	1348699***	314***
T x B	6	8.20***	190**	152933***	78.2**
Resíduo	24	0.60	198	45213	77.8

, * significativo ao nível de 1 e 0,1 % de probabilidade, respectivamente.

ns = não significativo

O pH dos solos aumentou proporcionalmente com o aumento da dose de biofóssido, de 5,4 a 7,5 no solo A, de 4,8 a 7,5 no solo FA e de 4,5 a 7,9 no solo FAA (Figura 13 A). Interessante observar que, na dose de 80 T ha⁻¹, a elevação do pH dos três solos foi muito semelhante, atingindo aproximadamente 7,5. O biofóssido usado nesse trabalho passou por um processo de compostagem no qual foi utilizado cal para promover a estabilização do material, o que causou aumento do pH do resíduo, que consequentemente influenciou o aumento do pH dos solos tratados com diferentes doses de biofóssido. Considerando que o pH ideal para o bom desenvolvimento das plantas encontra-se na faixa de 5,5 – 7,0, doses de 16 t/ha de biofóssido poderiam ser recomendadas para correção dos solos com texturas Franco Arenosa e Franco Argilo Arenosa, substituindo desta forma a utilização de calcário. Contudo, valores de pH superiores a 7,0 podem comprometer o suprimento de micronutrientes como Cu e Zn.

Figura 13. pH, matéria orgânica, concentração de fósforo e CTC dos solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes de biofóssido e cultivados com pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).



Costa et al. (2009) encontraram resultados semelhantes quando aplicaram biossólido em um Neossolo Regolítico, no Paraná. Melo et al. (2002) e Rodrigues et al. (2006) observaram aumentos no pH do solo ao aplicarem biossólido tratado com cal. A adição de cal ao lodo de esgoto é uma prática comum que visa à eliminação de patógenos e estabilização do resíduo para uso agrícola, contudo sua eficiência em modificar o pH do solo depende principalmente da textura e da capacidade tampão do solo.

Quando o lodo de esgoto é aplicado diretamente no solo sem antes passar por um processo de tratamento, normalmente a tendência é provocar redução no pH do solo, pois a decomposição do resíduo promove a liberação de amônio, o qual oxida formando nitrito e nitrato, com a produção líquida de dois H^+ . Além disso, pode também ocorrer a oxidação de sulfitos e a produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo (BETTIOL E FERNANDES, 2004).

A adição de biossólido ao solo contribuiu para o incremento da matéria orgânica do solo (MOS) após 80 dias da incubação, variando de 16,0 a 23,4 g kg^{-1} (solo A), 14,5 a 24,6 g kg^{-1} (solo FA) e de 12,3 a 32,3 g kg^{-1} (solo FAA), sendo uma importante contribuição quando se considera os benefícios que a presença de MO promove no solo. Porém, no solo A, o acúmulo de MOS foi observado apenas em doses acima de 80 T ha^{-1} ; acima de 16 T ha^{-1} no solo FA e um aumento gradativo no solo FAA (Figura 13 C). No solo A, a adição de até 80 T ha^{-1} do resíduo não promoveu aumento da MOS. As características físicas desse solo, associadas à presença de umidade no vaso, a temperatura do ambiente de casa de vegetação e a presença da planta, estimularam a atividade microbiológica e a decomposição do resíduo, resultando em perdas de carbono, o que confirma o efeito temporário da adição de biossólido sobre a MOS em solos tropicais. No solo FA, observou-se redução da MOS com aplicação de 16 T ha^{-1} de biossólido, provavelmente pelos mesmos fatores inferidos para o solo FA. Além disso, nesse solo, provavelmente ocorreu um processo conhecido como “Priming Effect” (Fontaine et al., 2003; Chen et al., 2014), onde a adição de determinado tipo de resíduo orgânico, ao invés de contribuir para o acúmulo e armazenamento de C no solo, estimula a degradação do carbono que já estava presente no solo. Esse estímulo à mineralização da MOS tem sido claramente observado na rizosfera, em função da exudação de compostos orgânicos frescos e de fácil decomposição, pois fornecem energia para a atividade microbiana.

Ainda no solo FA, aumentando a dose para 80 e 160 T ha^{-1} , observou-se aumentos de 70 % e 124 % na MOS, respectivamente. Já no solo FAA, doses crescentes de biossólido resultaram em incrementos da MOS da ordem de 13 %, 70 % e 168 %, referentes as doses 16,

80 e 160 T ha⁻¹, respectivamente. Martins (2001), aplicando até 80 T ha⁻¹ de biossólido ao solo, não observou efeitos nos teores de MOS do solo após quatro anos.

Diversos estudos reportam resultados semelhantes aos encontrados nesse trabalho, confirmando que incrementos significativos de MOS ocorrem, na sua grande maioria, quando doses muito elevadas de biossólido são aplicadas ao solo (Oliveira et al., 2002; Dynia et al., 2006; Silva et al., 2006).

Embora o biossólido seja um resíduo que normalmente apresenta elevado teor de carbono orgânico (20-40 %), o biossólido usado nesse estudo, talvez por ter passado por processo de compostagem, apresenta menor quantidade de C (13,8 %) (Tabela 3), o que também pode ter reduzido o teor da MOS em doses mais baixas. De qualquer maneira, a adição de biossólido em solos tropicais, arenosos, nem sempre resulta em benefício com relação ao aumento da MOS, a menos que o manejo desse resíduo seja feito por muitos anos. Isso porque, após sua aplicação, há expressivo consumo de MO no solo, até que seja alcançado novo equilíbrio da relação C:N (Rowell et al., 2001).

A concentração de P nos solo aumentou com o aumento das doses de biossólido, exceto para o solo FA (Figura 13 B). Para o solo A, as doses de biossólido promoveram aumentos na concentração de P da ordem de 3,4 a 31 vezes, o que já era esperado devido à baixa concentração de P no solo antes da aplicação dos tratamentos. Este resultado indica que o uso de biossólido é importante para melhorar o status do P nos solos tropicais. Porém, aumento excessivo pode levar a elevadas perdas de P nesse solo, pois ocorrerá a redução da energia de ligação nos sites de adsorção de P no solo, com consequente risco para os ecossistemas aquáticos, uma vez que o P pode causar problemas de eutrofização. A elevação dos teores disponíveis de P em solos tratados com biossólido é uma tendência frequente em áreas agrícolas manejadas com esse tipo de material.

A aplicação de biossólido ao solo influenciou positivamente na capacidade de troca de cátions, como pode ser observado na Figura 13 C. Nesse caso, pode-se notar também que os maiores efeitos aconteceram em doses acima de 16 T ha⁻¹, principalmente nos dois solos mais arenosos e mais pobres quimicamente. A CTC variou de 9,5 a 11,7 Cmolc kg⁻¹ no solo A, de 8,2 a 17,8 Cmolc kg⁻¹, no solo FA, e de 11,2 a 21,0 Cmolc kg⁻¹ no solo FAA, com aumentos de 8%, 54% e 117 % para o solo FA, e de 2%, 66% e 87% para o solo FAA, nas doses de 16, 80 e 160 T ha⁻¹, respectivamente. As mudanças na CTC do solo A foram distintas dos demais

solos, pois houve redução desse parâmetro até a dose de 80 T ha⁻¹, a partir da qual se observou aumento, atingindo 11,7 Cmolc kg⁻¹, que comparado com a CTC inicial do solo, na dose zero de biossólido, representa um aumento de apenas 23%.

Considerando que a CTC do solo recebe contribuição dos colóides minerais da fração argila e da MOS, e sendo que a percentagem de argila no solo A é de apenas 3,8%, deixando a maior contribuição para a MOS, pode-se inferir que a redução da CTC desse solo, após a aplicação da menor dose de biossólido, resultou da degradação do carbono existente nesse solo (Figura 13 C).

Solos tropicais intemperizados, quimicamente pobres, com um complexo adsorvente formado por argilas de baixa atividade (argilas 1:1 e gibbsita), pobres em matéria orgânica, com baixa CTC, como os solos usados nesse estudo, podem ser beneficiados com a adição de biossólido. Tal prática mostrou um efeito altamente positivo na fertilidade do solo, pois além de aumentar as concentrações de MOS, também promoveu aumento significativo da CTC do solo, pois nesses tipos de solo, a maior parte da CTC depende do componente orgânico.

As concentrações de Ca, Mg, Al e Na, e a condutividade elétrica (CE) dos solos tratados com biossólido estão apresentadas na Tabela 8. As concentrações de Ca no solo aumentaram com o aumento das doses de biossólido, o que já era esperado em função do tratamento aplicado ao lodo de esgoto. Contudo, o mesmo não aconteceu com as concentrações de Mg, o que levou a um desequilíbrio na relação Ca/Mg, principalmente no solo FAA, nas doses de 80 T ha⁻¹ (Ca/Mg = 8,3) e 160 T ha⁻¹ (Ca/Mg = 31,7) de biossólido. Com base na Tabela 2, verifica-se que, mesmo no tratamento sem adição de biossólido (0 T ha⁻¹), houve aumento nas concentrações de Ca (Tabela 8), provavelmente em função da água utilizada para irrigação.

A mesma tendência de aumento em função das doses de biossólido foi observada para o Na no solo, sendo que pequenas quantidades de biossólido provocam elevações de 2 a 3 vezes o valor encontrado no tratamento controle. Devido aos danos causados à estrutura do solo pela presença de Na, esse tipo de biossólido deve ser usado com muita cautela.

A condutividade elétrica (CE) dos solos também foi influenciada pela adição de biossólido. Com exceção do solo FAA, que mostrou um aumento proporcional da CE com o aumento da aplicação de biossólido, variando de 0,508 a 0,844 dS m⁻¹, o solo A e o solo FA resistiram a mudanças na CE em doses menores do que 80 T ha⁻¹, porém apresentaram aumentos de 38 % e 20 %, respectivamente, entre as doses de 80 e 160 T ha⁻¹ (Tabela 8).

A condutividade elétrica permite avaliar a concentração de sais solúveis no solo, sendo que valores acima de $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (2 dS m^{-1}) caracterizam solos salinos, característica que pode afetar o desenvolvimento das plantas em função da toxidez de alguns íons, desequilíbrios nutricionais e restrição na absorção de água e nutrientes devido ao aumento da pressão osmótica da solução do solo. Sendo assim, a aplicação de bio sólido nas doses usadas nesse trabalho, não provocou efeitos negativos na solução do solo, já que não promoveu valores acima de 1 dS m^{-1} .

Tabela 8. Concentrações trocáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e sódio (Na), e condutividade elétrica (CE) dos solos com diferentes classes texturais tratados com doses crescentes de bio sólido e cultivados com pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).

Solo	Dose Bio sólido (T ha ⁻¹)	Ca	Mg	Al	Na	CE
		----- Cmol dm ⁻³ -----			--mg dm ⁻³ --	-dS m ⁻¹ -
Solo A	0	4,01± 0,10	1,86±0,57	0,5	130,9±18,3	0,63±0,02
	16	5,25 ±0,25	0,68±0,17	0,05	334,6± 39,3	0,58±0,02
	80	7,44 ±0,27	1,56±0,22	0,05	429,0± 115	0,60±0,02
	160	8,25 ±0,27	1,41±0,19	0,05	456,1± 39,1	0,77±0,08
Solo FA	0	3,79±0,52	1,31±0,33	0,09	240,0± 60,5	0,71±0,13
	16	6,32±0,92	0,46±0,15	0,05	418,0± 53,2	0,71±0,03
	80	9,48±1,1	1,18±0,02	0,05	485,0± 25,9	0,73±0,01
	160	14,9±0,38	0,47±0,22	0,05	524,3± 21,1	0,87±0,02
Solo FAA	0	3,63±0,16	1,40±0,13	0,61	238,4± 57,7	0,51±0,05
	16	6,49±0,61	2,00±0,13	0,05	535,3± 15,0	0,62±0,05
	80	12,1±0,95	1,88±0,03	0,05	662,0± 33,6	0,68±0,04
	160	14,8±0,7	2,90± 0,5	0,05	723,0± 50	0,84±0,02

CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou a viabilidade do uso de biossólido, originado do tratamento de águas residuárias domésticas, no solo para o cultivo do pinhão manso, uma espécie de grande importância econômica e ambiental, já que se destina a produção de biocombustível. Os resultados mostraram que o biossólido contribuiu para o crescimento das plantas, promovendo aumento da biomassa e melhorando o estado nutricional. Os solos tratados com biossólido também apresentaram melhorias nas suas propriedades químicas.

Porém, o efeito do biossólido nas plantas e no solo variou tanto em função da textura do solo como das doses aplicadas. Houve melhor resposta das plantas no solo Areia (solo A) e no solo Franco Argilo Arenoso (solo FAA). O primeiro por apresentar melhores condições físicas para o crescimento de raízes e por depender essencialmente da matéria orgânica como fonte de nutrientes para as plantas, o que pode ser comprovado pela excelente resposta do sistema radicular e pelo incremento na parte aérea, mesmo em menores doses do biossólido. O segundo solo, o FAA, apesar de não ter proporcionado bom crescimento do sistema radicular, provavelmente em função da textura fina, respondeu com incrementos crescentes tanto na parte aérea como nas raízes quando submetido às doses crescentes de biossólido. Já o solo Franco Arenoso respondeu com pequenos incrementos na biomassa da parte aérea e na raiz.

Dessa forma, com base nos resultados, doses menores que 80 T ha^{-1} de biossólidos promovem melhorias no crescimento de plantas, independente da textura, mesmo que em graus diferentes. Acima desse valor, as respostas variam mais acentuadamente em relação à textura.

A adição do biossólido contribuiu positivamente com aumentos na CTC, no teor de matéria orgânica do solo e no pH, melhorando o ambiente para o crescimento de plantas. Contudo, a mesma tendência foi observada, ou seja, doses acima de 80 T ha^{-1} mudam a intensidade dos incrementos em alguns parâmetros e isso varia com a textura, explicando os resultados obtidos com relação aos parâmetros de planta. Portanto, o uso de biossólido deve ser feito de acordo com o tipo de solo, assegurando benefícios às plantas e aos solos, e, ao mesmo tempo, evitando potenciais problemas de contaminação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. V. H.; Barros, N. F. de; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Org.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.I, p.645-736, 2007.

ALCÂNTARA, R. L.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; GHEYI, H. R.; SANTOS, J. W.; CEBALLOS, B. S. O. **Desempenho produtivo do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de lodo de esgoto como fonte nutricional**. In: CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA 4ª REGIÃO DA AIDIS/CONE SUL, 4., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo, 2003. p. II-19.

ALUSHLARI, M., CIVICI, N., DEDA, A. The Bioaccumulation Factor Of Essential Metals In Maize Plant. **Scientia Agriculturae**, v.1., p.76-79. 2014.

ALVES, G. da S.; BELTRÃO, N. E. de M.; NETO, J. F. de B.; SAMPAIO, L. R.; MARÇAL, J. A.; AMORIM, M. L. C. M.; SILVA, F. V. de F. **Efeito da adubação orgânica sobre o crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 & SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 1322-1325.

ARAUJO, P. S.; GOEDERT, J. W.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARANTES, E. M.; CREMON, C.; LUIZ, M. A. C. Alterações dos atributos químicos do solo cultivado no sistema orgânico com plantio direto sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Agrarian**, v.15, p.47-54, 2012.

ANTOLÍN, M. C., PASCUAL, I., GARCÍA, C., POLO, A., SÁNCHEZ-DÍAZ, M., 2005. **Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions**. Field Crop Res. 94, 224–237.

ANTOLIN, M. C.; MURO, I.; SANCHEZ-DIAZ, M. **Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions.** Environmental and Experimental Botany.v. 68, p. 75-82. 2010.

ARÁÚJO, A. S. F., MONTEIRO, R. T. R., CARVALHO, E. M. S., 2007. **Effects of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea.** Biores. Technol. 98, 1028–1032.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006. P. 253 – 280.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p.601-605, 2007.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto.** Jaguariuna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312 p.

BETTIOL, W., FERNANDES, S.A.P. 2004. **Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo.** Jaguariúna, SP: Embrapa, 6 p. (Comunicado Técnico, 24).

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A.G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.469-476, 2006.

BOWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 113, n. 4, p. 510 - 535, 1987.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** LEPSCH, I. Rio de Janeiro: Bookman, 3ed, 2012.

BRASIL. **Resolução Conama nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de

esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 30 ago. 2006. Seção 1, p.141-146.

BROFAS, G.; MICHPOULOS, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. **Journal of Environment Quality**, v.29, p.811-816, 2000.

CAMARGO, R. Biossólido como substrato na produção de mudas de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** - Agriambi, v. 14, n. 12, 2010.

CANTARELLA, H., ANDRADE, C. A., JUNIOR, D. M. 2. **Matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio para as plantas**. In: SANTOS, G.A. de., SILVA, L.S. da, CANTANELLAS, L.P., CAMARGO, F. A. O. (Eds) Fundamentos da Matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole. 2008. 582p

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. Boletim Informativo, Belo Horizonte, v.29, n.1413, 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim/bol1413/quarta.shtml>>. Acesso em: 17 de julho de 2014.

CHEN, R.; SENBAYRAM, M.; BLAGODATSKY, S.; MYACHINA, O.; DITTERT, K.; LIN, X.; BLAGODATSKAYA, E.; KUZUYAKOV, Y. Soil C and N availability determine the priming effect: microbial N mining and stoichiometric decomposition theories. **Global Change Biology**, v. 20, p. 2356-2367. 2014

CIOTTA, M. N., BAYER, C., FONTOURA, S. M. V.; HERNANI, P. R., ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, p.1161-1164, 2003.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; SANTOS, H. G. DOS; BREFIN, M. DE L. M. S.; BREFIN, M. DE L. M. S.; PEREZ, D. V.; PEREZ, D. V. **Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013, 62 p.

CORRÊA; R. S.; SILVA; L. C. R.; BAPTISTA; G. M. M.; SANTOS; P. F. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.14 no.5 Campina Grande, 2010.

DYNIA, J.F.; SOUZA, M.D. & BOEIRA, R.C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41: 855-862, 2006.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. & Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, 1994. (Special publication, 35).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. DA SILVA, F. C. **Manual de Análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Brasília, 1999.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de Laboratórios; Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos**. Embrapa, São Carlos, SP, 2005.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.27, p.1097-1104, 2003.

FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.278-282, 2005.

FERMINO, M. H.; KAMPF, A. N. Uso do solo bom Jesus com condicionadores orgânicos como alternativa de substrato para plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.9, n.1-2, p.33-41, 2003.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; ANDREOLI, C. V. **Gestão e controles operacionais aplicados à reciclagem agrícola de biossólidos na região metropolitana de Curitiba**. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS, 1., 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.

FIGUEIREDO, D. D., BARROS, P. M., CORDEIRO, A. M., SERRA, T. S., LOURENÇO, T., CHANDER, S., OLIVEIRA, M. M., SAIBO, N. J., 2012. Seven zinc-finger transcription factors are novel regulators of the stress responsive gene OsDREB1B. **Journal of Experimental Botany**. 63, 3643-3656

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. 2001. 252f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA, 2001. 252p.

GALDOS, M. V.; DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 569-577, 2004.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.459-465, 2007.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. **Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização**. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.) Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 309 - 350.

GRANT, C. A. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial das plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba: POTAFOS, n.95. 2001. 5p.

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo vermelho-escuro quatro anos após a aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.15, p.237-240, 1991.

Kirkby, C.A., Kirkegaard, J.A., Richardson, A.E., Wade, L.J., Blanchard, C., Batten, G. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils. **Geoderma**, V. 163, p. 197-208. 2011.

LAL, R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. **Land Degradation & Development, West Sussex**, v. 17, p. 197-206, 2006.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LEPSCH, I. G. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. L.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. DE M. Crescimento inicial de mudas de mamoneira em substrato contendo lodo de esgoto e casca de amendoim. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.9, n.1/3, p.887- 891, 2005.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SOFIATTI, V.; SAMPAIO, L. R.; BELTRÃO, N.E.M. Casca de mamona associada a quatro fontes de matéria orgânica para a produção de mudas de pinhão-manso. **Revista Ceres (Impr.)**, v.58, p. 232-237, 2011.

MALDONADO, A. C. D. **Secagem de lodo de reator anaeróbio em secador rotativo com recheio de inertes**. Dissertação de Mestrado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 133p.

MARCHIOL, L.; ASSOLARI, S.; SACCO, P. & ZERBI, G. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. **Environmental Pollution**, 132:21-27, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. London: Academic Press, 2011.672p.

MARTINS, A. L. C. **Fitodisponibilidade de metais pesados em um Latossolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e calcário**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 118p. (Tese de Mestrado)

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.27, p.563 - 574, 2003.

MATOS, F. S. ROCHA, E. C., CRUVINEL, C. K. L., RIBEIRO, R. A., RIBEIRO, R. P., TINOCO, C. F. Desenvolvimento de mudas de pinhão-mansô irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 947-954, 2013.

MEDEIROS, I. F. S. **Crescimento, biomassa e nutrição mineral em plantas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) nutridas com composto orgânico**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. 2012.

MELO, W. J., MARQUES, M. O., MELO, V.P. 2002. **O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo**. In M. T. TSUTIYA, J. B. COMPARINI, P. ALEM SOBRINHO, I. HESPANHOL, P. C. T. CARVALHO, A. J. MELFI, W. J. MELO, M. O. Marques: Biossólidos na agricultura. São Paulo, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, p. 289-363.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.

MULVANEY, M. J., WOOD C. W., BALKCOM KS, S., KEMBLE, J. M. 2010 Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. **Agronomy Journal** 102, 1425-1433.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R. & ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: Carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:505-519, 2002.

OLIVEIRA, F. A. et al. Desenvolvimento inicial da mamoneira sob diferentes fontes e doses de matéria orgânica, **Caatinga**, v.22, n.1, p.206-211, 2009.

PRATES, F. B. S. **Crescimento, Desenvolvimento e Nutrição de Pinhão Manso Adubado com Lodo de Esgoto e Silicato de Cálcio e Magnésio**. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2010. 93 f: il.

PRADO, M. R. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. 407p.

PRIMAVIESI, A. M. **Manejo ecológico dos solos**. São Paulo: Nobel, 1990. 514p.

R core team. R: **A language and environmet for statistical computing**. R Fundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014.

RODRIGUES, T. A.; ARRUDA, R. SOARES, C.; MACHADO, I.; ARNALDO, L. F. Produtividade de Milho e de Feijão Consorciados Adubados con Diferentes Formas de Lodo de Esgoto. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**. V. 6, p. 52-63. 2006.

ROWELL, D.M.; PRESCOTT, C.E. & PRESTON, C.M. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials: Relationship with initial chemistry. **J. Environ. Qual.**, 30:1401-1410, 2001.

SADEGHZADEH, B. A review of zinc nutrition and plant breeding. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. 2013, 13 (4), 905-927.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; GONÇALVES, N. P.; LOPES, H. F. **Caracterização físico-química de alguns solos cultivados com pinhão manso no estado de Minas Gerais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2005, Varginha. Resumos Expandidos. Varginha, 2005a.

SILVA, W. T. L de.; NOVAES, A. P. de.; MARTIN NETO, L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; HANEDA, R. N.; FIALHO, L. L.; LEONELLI, F. C. V. **Método de aproveitamento de biossólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia**. Relatório Técnico. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. **Matéria Orgânica do Solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. 2007. p. 275-374.

SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; DYNIA, J. F.; BETTIOL, W. & MANZATTO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:353-364, 2006.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. **Chemosphere**. V. 67, p. 2229-40, 2007.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: EPAMIG, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.

Tian,G., Franzluebbers, A.J., Granato,T.C., Cox, A.E., O'Connor, C. Stability of soil organic matter under long-term biosolids application. **Applied Soil Ecology**, V. 64, p. 223-227, 2013.

TIESSEN, H.; SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**., 61:99-103, 2001.

TRIGUEIRO, R. DE M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.64, p.150-162, 2003.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do Solo**. 6ª Edição, 2007.

USEPA, “**Method 3050B Acid digestion of sediments, sludges and soils**”, Revision 2, Environmental Protection Agency, Washington, USA 3-5 (1996).

YANG, X., TIAN, X., LU, X., CAO, Y., CHEN, Z., 2011. Impacts of phosphorus and zinc levels on phosphorus and zinc nutrition and phytic acid concentration in wheat (Triticum aestivum L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 91, 2322-2328.

YOON, J., CAO, X., MA, L. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, v. 358, p. 456-464, 2006.

WANKE, R. **Plano de gerenciamento de lodos para pequenas estações de tratamento de esgoto sanitário no município de Linhares-ES**. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIODISSÓLIDOS, 1., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.

WEN, G.; WINTER, G.P.; VORONEY, R.P.; BATES, T. E. Potassium availability with application of sewage sludge, and sludge and manure composts in field experiments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 1997, v. 47, p. 233-241.